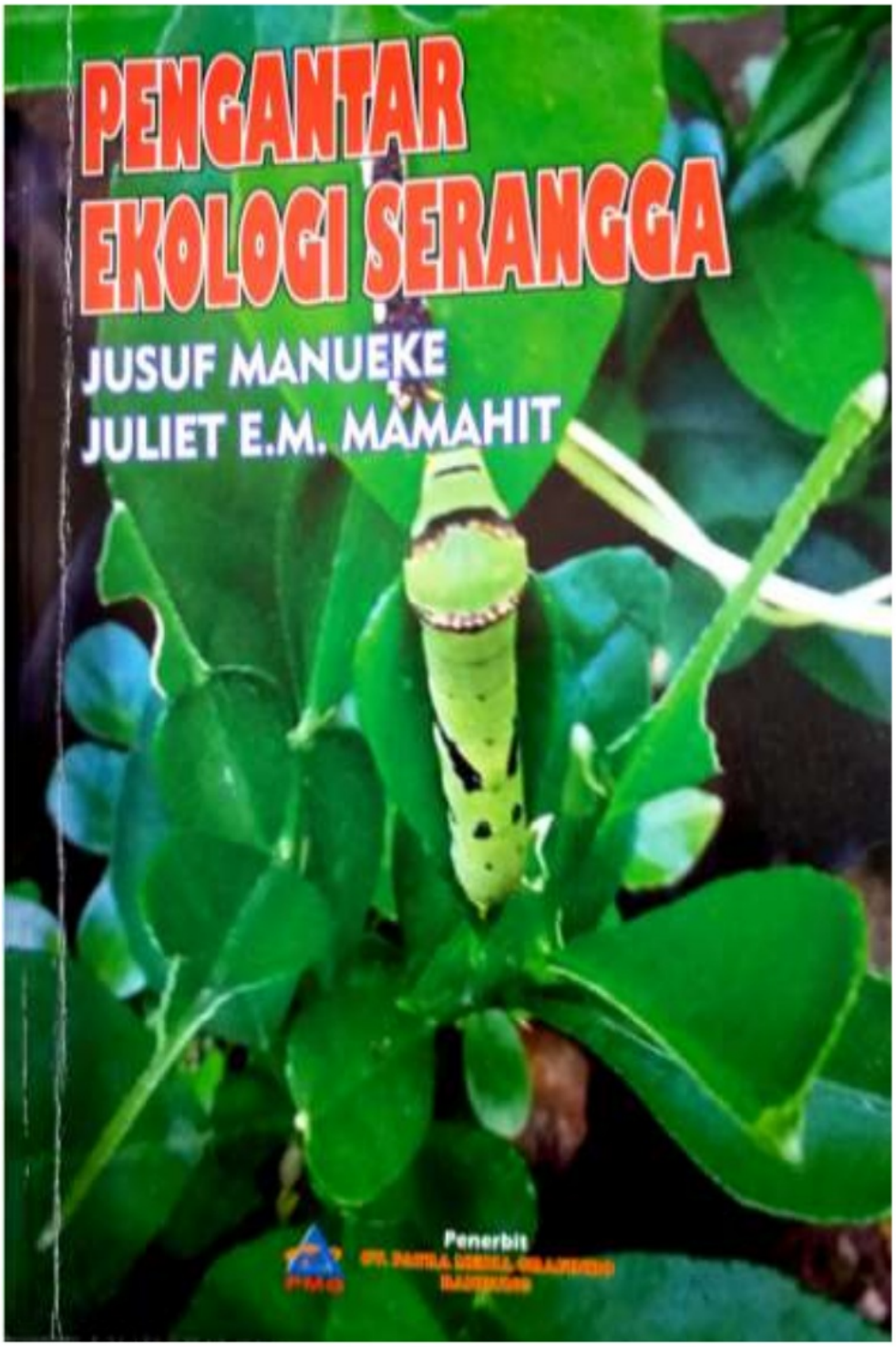
BUKU REFERENSI PENG. EKOL. SERANGGA

by Fakultas Pertanian

Submission date: 26-Nov-2020 08:51AM (UTC+0900)
Submission ID: 1457255156
File name: BUKU_REFERENSI_PENG._EKOL._SERANGGA.pdf (1.4M)
Word count: 40605
Character count: 264405


PENGANTAR
EKOLOGI SERANGGA
JUSUF MANUEKE
JULIET E.M. MAMAHIT
Penerbit

Pengantar Ekologi Serangga

Penulis:

JUSUF MANUEKE
JULIET E.M.

Editor:
Parluhutan Siahaan
Dr. Ir. Dantje Tarore h, M.Si.

PMG

Penerbit
CV. PATRA MEDIA GRAFINDO BANDUNG
2019

Pengantar Ekologi Serangga

Penulis:
Jusuf Manueke
Juliet E.M.

Editor:
Parlubutan Siahaan
Dr. Ir. Dantje Tarore, M.Si.

Hak Cipta @ pada Penulis Dilindungi (All right reserved)

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak buku ini sebagian atau seluruhnya, dalam bentuk dan dengan cara apapun juga, baik secara mekanis maupun elektronis, termasuk fotocopy, rekaman dan lain-lain tanpa izin tertulis dari penulis.

Penerbit
CV. PATRA MEDIA GRAFINDO
BANDUNG
Jl. Jend. Sudirman No. 736 - Bandung
Telp/Fax. 022-6040938 HP. 081214686604
e-mail: Patramedia@gmail.com
website: www.patramedia.com

Anggota IKAPI

Cetakan pertama, September 2019

Perpustakaan Nasional : Katalog dalam Terbitan

ISBN 978-602-6529-59-6

9 786026 529596

KATA PENGANTAR

Segala hormat, pujian dan sembah hanya bagi Dia, Tuhan Yesus Kristus yang menuntun dan memberi kekuatan serta kemampuan kepada kami penulis, sehingga tulisan berupa buku ajar untuk mata ajaran Pengantar Ekologi Serangga ini boleh diselesaikan.

Tulisan ini memuat semua materi kuliah Pengantar Ekologi Serangga yang dikuliahkan selang lima tahun terakhir ini, kemudian diperkaya dengan referensi terbaru yang dimiliki oleh tim pengajar mata ajaran ini, serta informasi-informasi terkini melalui fasilitas internet.

Melalui kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Rektor Unsrat melalui LP3 Unsrat melalui dana PNBP Unsrat tahun 2019 yang sudah mendanai penyusunan buku ajar ini.
2. Dekan Fakultas Pertanian Unsrat yang sudah memberi kesempatan kepada penulis dan tim untuk menyusun buku ajar ini.
3. Pimpinan Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian Unsrat yang sudah memberi rekomendasi kepada penulis dan tim untuk penulisan buku ajar ini.
4. Kepada semua pihak yang sudah membantu penulis dan tim sehingga buku ajar ini dapat selesai.

Dengan selesainya penulisan bahan ajar ini, kami penulis menyadari bahwa tulisan ini belum sempurna, masih banyak kekurangan sehingga dikemudian hari perlu diperbaharui dan disempurnakan. Untuk itu, segala kritik, saran dan masukan sangat diperlukan untuk penyempurnaan materi kuliah ini kedepan.

Akhirnya semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita sekalian yang berkecimpung di bidang pertanian, khususnya bidang Entomologi, terutama mahasiswa Program Studi Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian yang mengambil mata kuliah Pengantar Ekologi Serangga.

Manado, September 2019

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR		.....	i
DAFTAR ISI		.....	iii
DAFTAR TABEL		.....	vi
DAFTAR GAMBAR		.....	vii
BAB I.	KONSEP- KONSEP DASAR EKOLOGI		
	1. Definisi	.....	1
	2. Tingkatan Organisme	.....	2
	3. Komponen Sistem Kehidupan	.....	3
	4. Seleksi Alam	.....	4
	5. Umpan Balik dan Keseimbangan	.....	5
	6. Evolusi	.....	7
	7. Aliran Energi	.....	7
BAB II.	HUBUNGAN TROPIK DAN STRUKTUR TROPIK KOMUNITAS		
	1. Rantai Makanan	.....	10
	2, Konsep Tingkatan Tropik	.....	11
	3. Jaringan Makanan	.....	15
	4. Piramida Jumlah	.....	16
	5. Piramida Biomosa dan Energi	.....	17
	6. Metoda atau Cara Mengkaji Tingkatan Trofik	.....	19
	7. Kecenderungan Karakter Organisme dalam Tingkatan Trofik	.....	20
	8. Guild	.....	21
BAB III.	KOEVOLUSI TUMBUHAN DAN HERBIVOR		
	1. Pertahanan dan Penyerangan antara Tumbuhan dan Hewan	.....	23
	2. Produk Metabolic Primer dan Sekunder	.....	24
	3. Seleksi Inang oleh Serangga Herbivor	.....	24
	4. Allelopati	.....	26
	5. Senyawa Kimia Sebagai Pertahanan Tumbuhan	.....	27

	6. Serangan Balik Tumbuhan	.....	31
BAB IV.	KOEVOLUSI MANGSA DAN PREDATOR		
	1. Predasi Sebagai Strategi Eksploitasi	.....	32
	2. Parasitoid	.....	33
	3. Hipotesis probabilitas penemuan	.....	34
	4. Besaran Seleksi	.....	36
BAB V.	ALIRAN ENERGI		
	1. Energi Matahari	.....	39
	2. Produktivitas Primer	.....	42
	3. Penyimpanan Energi	.....	44
	4 Aliran Energi dalam Individu dan Populasi	.....	45
	5. Pergerakan Energetika	.....	46
	6. Peranan Serangga dalam Aliran Energi	.....	47
	7. Dampak Herbivor Terhadap Tumbuhan	.....	48
	8. Peranan Arthropoda dalam Aliran Energi (Saprofag)	.....	49
	9. Efisiensi Maksimum	.....	50
BAB VI.	SERANGGA DAN IKLIM		
	1. Temperatur	.....	53
	2. Kelembaban Udara	.....	67
	3. Curah Hujan atau Presipitasi	.....	79
	4. Cahaya dan Radiasi	.....	85
	5. Angin dan Gerak Udara	.....	93
BAB VII.	POPULASI SERANGGA		
	1. Pertumbuhan Populasi dan Tabel Hidup	.....	98
	2. Strategi Reproduksi	.....	107
	3. Dinamika Populasi	.....	113
	4. Genetika Ekologi	.....	121
	5. Populasi Dibawah Cekaman Insektisida	.....	123
BAB VIII.	KOEKSISTENSI DAN KOMPETISI		
	1. Konsep Relung (Niche)	.....	127
	2. Tingkah Laku	.....	129
	3. Pembilahan Sumber Daya	.....	129

BAB IX. KOMPETISI INTRA DAN INTER SPESIFIK
1. Pengertian Kompetisi 133
2. Predasi 133
3. Kamuflase (cryptic coloration) 134
4. Pertahanan (defense) 135
5. Respon Melarikan Diri 135
6. Mimikri 136
7. Lomba Senjata 137
8. Predasi dan Dinamika Populasi 138
9. Predasi dan Keragaman Spesies 138

BAB X. SISTEM SOSIAL DAN TINGKAH LAKU
1. Pengertian Sosial (masyarakat) 141
2. Pengertian Tingkah Laku 141
3. Insting 142
4. Tingkah Laku Reproduksi 142
5. Tingkah Laku Teritorial 143

BAB XI. KOMUNITAS DAN DISTRIBUSI
1. Suksesi Tanaman dan Serangga 144
2. Perkembangan Struktur Komunitas dan Organisasi 147
3. Model Biografi Pulau 147
4. Komunitas Organisme 151

BAB XII. KEANEKARAGAMAN HAYATI DAN KONSERVASI
1. Definisi dan Istilah 153
2. Distribusi Keanekaragaman Hayati 154
3. Ancaman Terhadap Biodiversitas 155

KEPUSTAKAAN 157

DAFTAR TABEL

No.	Teks	Halaman
1.	Jenis makanan serangga pradewasa dan dewasa berbeda …..	13
2.	Contoh-contoh Taksa Serangga Herbivore dan Karnivor …….....….....	14
3.	Beberapa Respons Terhadap Tekanan Seleksi Predatsi Terutama Predasi Vertebrata ……..…….….....	37
4.	Efisiensi Ekologi Transfer Energy Dinyatakan dalam Presentase ……	40
5.	Efisiensi Fotosintesis Beberapa Tumbuhan ……	41
6.	Produksi Primer Bersih (Biomassa) pada Lokasi Subur di Latitude yang Berbeda ……	43
7.	Kehidupan Lalat Rumah *Musca domestika* dalam Hubungannya dengan Berbagai Tingkatan Temperatur …….	60
8.	Hubungan Antara Jumlah Generasi Teoritis yang dapat Dihasilkan oleh Kupu-Kupu *Pieris brassicae* dalam Setahun pada Berbagai Tempat dan Jumlah Generasi Nyata ……	62
9.	Hubungan Kadar Air Jenis Makanan dan Kadar Air Tubuh Serangga di Alam ……	69
10.	Data Pengamatan Cohort Nyamuk ……..	105
11.	Data Cohor Nyamuk (perluasan table 10) ……	105
12.	Tabel Kehidupan Kohor Nyamuk ……..	106
13.	Tabel Kehidupan Hama *Choristoneura fumiferana* pada Pohon Pinus ……	107
14.	Beberapa Sifat Seleksi-r dan -K Menurut Pianka (1970, vide Krebs, 1978) ……	111
15.	Sifat-sifat Ekstrim Seleksi-r, seleksi-K, dan Seleksi-A Menurut Greensdale, 1983 (vide Stenseth, 1987) ……..	112

DAFTAR GAMBAR

No.	Teks	Halaman
1.	Faktor-faktor yang Berinteraksi Mempengaruhi Fenomena Populasi ……...	4
2.	Mekanisme Umpan Balik Genetik yang Beraksi Secara Negative Menurunkan Kerapatan Herbivor ……	6
3.	Pemanfaatan Energy Saat Mengalir Didalam Ekosistem ……	8
4.	Siklus Kimia Didalam Ekosistem ……	9
5.	Hubungan Pemakanan Antara Beberapa Komponen Komunitas Hutan di Wytham Oxfordshire ……..	16
6.	Piramida Jumlah Elton Terlihat pada Lender coklat pada Pohon Elm di Inggris ……..	18
7.	Piramida Biomasa ……	19
8.	Tingkatan-tingkatan yang Mungkin Terjadi dalam Langkah-langkah Koevolusi Antara Mentimun dan Herbivore ……..	28
9.	Hubungan Energy pada Tingkatan Produsen Primer Rumput Menahun dan Komunitas Gulma ……..	40
10.	Model Aliran Energy Melalui Individu Organisme ……	45
11.	Berbagai Haluan Kurva Kecepatan Tumbuh Populasi Didalam Keadaan Ideal Maupun Wajar ……...	99
12.	Pertumbuhan Populasi Organisme Yang Terbagi Menjadi 5 Tingkatan ……	101
13.	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Perubahan Kepadatan Populasi Serangga. ……..	102
14.	Laju Peningkatan 2 Alel X_1 dan X_2 Sebagai Fungsi Kerapatan Populasi ……...	109
15.	Bagan Umum Sistem Umpan Balik ……	114
16.	Mekanisme Umpan Balik Negatif Dalam Ekosistem ……...	114
17.	Mekanisme Umpan Balik Negatif pada Pengendalian Populasi Organisme……..	116
18.	Komponen Pengendali Alami Populasi ……...	117
19.	Hubungan antara Populasi dan Mortalitas yang disebabkan oleh Faktor Tergantung Kepadatan (DDF) ……	118
20.	Hubungan Antara Kepadatan Populasi Mangsa dan Populasi Predator ……	119
21.	Mekanisme Umpan Balik pada Pengaturan Populasi A oleh Predator ……	119
22.	Hubungan Antara Organisme dalam Populasi dan Mortalitas	120

	Akibat Densty Independent Factors (DIF) ……..	
23.	Gejolak Populasi Sekitar Arus Keseimbangan Umum dan Bekerjanya DDF dan DIF …….....	121
24.	Hubungan Antara Kepadatan Populasi dan Perubahan Genetik Akibat Tekanan Lingkungan yang Merupakan Mekanisme Umpang Balik Genetik pada Populasi ……..	122
25.	Peningkatan Arus Keseimbangan Umum Akibat Perlakuan Pestisida Secara Terus Menerus …….	125
26.	Penurunan Aras Keseimbangan Umum Akibat Pengendalian Faktor Alam ……..	126
27.	Diagram Gambaran dari Niche Dimana Suatu Spesies dapat Menggunakan Beberapa Sumber Daya dengan Jenis Tebal …	128
28.	Zona Makan dari Kelima Spesies “Warblers” ……..	130
29.	Potongan Melintang Bukit Berpasir di Pantai Barat Contentin Perancis (Chevin, 1966) Karena Angin Kuat dari Barat Maka Pasir Digundukan pada Tanah Terbaru …….....	146
30.	Keseimbangan Keragaman Spesies pada Suatu Pulau ……	148
31.	Pengaruh Jarak Pulau dari Sumber Potensial dan Pengaruh Ukuran Pulau Terhadap Jumlah Spesies Di Pulau ……...	150
32..	Hipotesis Gangguan ……	151

BAB I
KONSEP- KONSEP DASAR EKOLOGI

1. Definisi

Istilah ekologi pertama kali digunakan oleh Hernest Haekel seorang ahli biologi pada tahun 1869. Istilah ini berasal dari kata Junani “oikos” yang berarti rumah atau tempat tinggal dan “logos” yang berarti ilmu. Secara harafiah ekologi berarti ilmu tentang makluk hidup dalam rumahnya atau dapat diartikan sebagai ilmu tentang rumah tangga mahluk hidup.

Penentuan definisi tentang ekologi adalah sulit. Biasanya ekologi difenisikan sebagai studi ilmu tentang hubungan-hubungan antara mahluk hidup dengan lingkungannya. Definisi ini terlalu luas artinya sehingga sulit menentukan batas-batasnya. Muncul berbagai kritikan dari berbagai penulis dan sekaligus memberikan pernyataan yang berbeda tentang definisi ekologi.

Haekel (1907) menyatakan ekologi adalah sisi domestic kehidupan organic. Shelford(1907) mendefinisikan ekologi adalah kebutuhan hidup dan kebiasaan mengatur rumah oleh organisme.

Elton (1927 memberikan batasan bahwa ekologi adalah pengetahuan sejarah alam. Batasan ini mirip dengan apa yang disarankan oleh Haekel sebelumnya.

Haekel (1870) menyarankan bahwa ekologi didefinisikan sebagian kajian teori alam.

Odum (1930) mendefinisikan ekologia adalah kajian tentang struktur dan fungsi alam. Definisi – definisi ini masih kurang jelas dan terlalu luas jangkaunya. Pada tahun 1961 Endrewartha memberikan definisi ekologi adalah studi ilmiah tentang distribusi dan jumlah populasi suatu organisme, yang kemudian dimodifikasi oleh para ekologiwan menjadi studi ilmiah tentang interaksi-interaksi yang dapat menentukan distribusi dan jumlah populasi suatu organisme. Simpson (1964) menempatkan ekologi sebagai studi atau kajian ilmu lingkungan bagi proses evolusi.

Ekologi mempunyai banyak persamaan dengan ekonomi, hanya saja dalam ekologi mata uang yang dipakai dalam transaksi bukanlah rupiah atau dolar melainkan materi, energy dan informasi. Arus materi dan energy dalam suatu komunitas atau antara beberapa komunitas mendapat perhatian utama dalam ekologi sepertinya arus uang dalam ekonomi.

2. Tingkatan Organisme

Didalam ekologi ada 5 tingkatan organisme yang harus dipelajari termasuk individu, populasi, komunitas dan system kehidupan yang merupakan bagian dari ekosistem dan biosfer.

Individu

Individu merupakan unit dasar untuk dipelajari, agar dapat diketahui bagaimana individu beradaptasi dan berperan dilingkungan. Hamilton (1967) dalam Price (1975) menekankan bahwa individu yang berproduksi adalah unit utama dalam seleksi alam.

Populasi

Suatu kelompok individu disebut populasi. Populasi dapat didefinisikan dalam dua cara, yaitu (1) populasi adalah semua individu didalam suatu area , (2) populasi dalam hal ini local populasi (deme) adalah sekelompok individu di suatu lokasi yang secara potensial dapat beriterbrid. Dengan demikian semua anggota populasi local memiliki bersama lungkang gen (gene pool) tunggal dan populasi seperti ini yang didefinisikan sebagai sekelompok individu yang setiap pasangan memiliki peluang sama untuk berkopulasi satu dengan yang lainnya dan dapat menghasilkan keturunan yang secara seksual dewasa atau fertil. Kelompok-kelompok populasi yang secara actual atau potential dapat berinterbid satu dengan yang lainnya adalah spesies. Konsep spesies ini dikenal sebagai konsep spesies multidimensi yang membantu para ekologiwan mempelajari individu sebagai anggota populasi atau yang unik. Spesies adalah unit evolusi dan spesiasi adalah metoda yang mana evolusi berlanjut.

Komunitas

Komunitas adalah tingkatan organism yang lebih tinggi yang terdiri dari populasi-populasi yang keberadaannya saling ketergantungan satu dengan yang lain, misalnya komunitas danau, sungai, kolam, sawah, hutan bakau, dsb.

Ekosistem

Suatu konsep sentral dalam ekologi adalah ekosistem, yaitu suatu system ekologi yang terbentuk oleh adanya interaksi-interaksi antara mahluk hidup dengan lingkungannya, dengan demikian ekosistem adalah komunitas dengan factor fisik lingkungannya. Tipe ekosistem regional seperti padang rumput, padang pasir, hutan tropic, trundra, taiga, dll disebut bioma. Komunitas tumbuhan-tumbuhan dan satwa-satwa yang berasosiasi dengan komunitas tersebut membentuk bioma yang tidak bersambungan. Suatu komunitas dapat sangat menyerupai komunitas di belahan bumi yang lain. Sebagai contoh, banyak padang pasir di dunia yang hampir serupa , tetapi apabila diamati secara lebih dekat ternyata bahwa meskipun sifat-sifat fisik lingkungan sama, organism-organisme tertentu yang menghuni lingkungan tersebut berbeda, sekalipun ada juga yang sama. Bioma adalah suatu kelas atau kategori bukan suatu tempat. Apabila kita berbicara hutan tropis kita tidak berbicara daerah geografik tertentu, tetapi semua hutan tropil di bumi ini. Konsep bioma menekankan suatu kebenaran yang penting: yang mana iklim adalah sama, organisme hampir serupa, meskipun organisme ini tidak memiliki hubungan secara genetic, dan adalah jauh terpisah dalam sejarah evolusinya. Organisme-organisme dari tempat-tempat terpisah secara geografik dari bioma yang sama, memberikan banyak contoh-contoh bentuk evolusi konvergen.

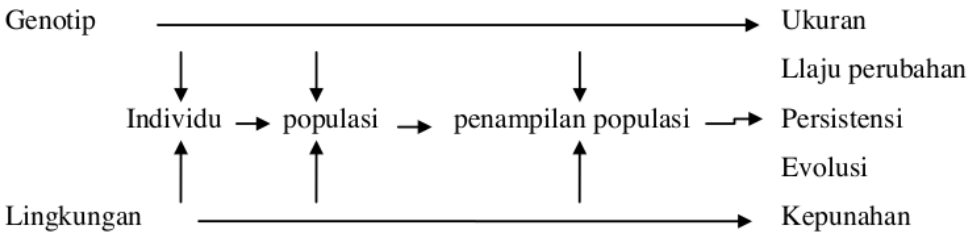
Biosfir

Biosfir adalah system biologi termasuk semua mahluk hidup di bumi yang berinteraksi dengan factor fisik lingkungan, yang merupakan bagian dari kulit bumi yang terdapat kehidupan. Biosfir membentang dari kira-kira 8-20 km di atas permukaan laut dan beberapa meter di bawah permukaan tanah, sedalam akar masih menembus, dan mikroorganisme dapat hidup.

3. Komponen Sistem Kehidupan

Sistem kehidupan adalah bagian dari ekosistem yang menentukan eksistensi, kelimpahan dan evolusi populasi tertentu. Sistem kehidupan ini terdiri dari populasi subjek dan lingkungan efektifnya yang termasuk totalitas agensi luar yang mempengaruhi populasi. Bagi anggota populasi lingkungan juga termasuk anggota lainnya.

Didalam system ekosistem fenotip individu ditentukan oleh interaksi antara genotip dan lingkungan, karena individu membentuk genotip populasi maka lingkungan akan juga mempengaruhi populasi dan gene poolnya. Dengan demikian jumlah total materi genetic didalam populasi akan sangat mempengaruhi menampilan populasi seperti ukuran/besar,laju perubahan atau pertumbuhan, persistensi, evolusi dan kepunahan. Penampilan ini juga akan sangat dimodifikasi oleh factor-faktor lingkungan (Gambar 1). Genotip individu secara permanen diatur ketika gamet jantan dan betina menyatu. Namun ekspresi genotip ditentukan oleh kondisi lingkungannya. Pengaruh lingkungannya secara konstan berubah, mungkin lebih cepat di daerah beriklim sedang dari pada di tropis, mungkin juga lebih cepat di tempat terbuka daripada yang terlindung.



Gambar 1. Faktor-faktor yang Berinteraksi Mempengaruhi Fenomena Populasi.

4. Seleksi Alam

Perubahan lingkungan akan kadang-kadang membantu satu genotip sepanjang waktu sehingga sintasan (survival) populasi tergantung pada adanya suatu keragaman genotype. Keragaman genotype didalam populasi dipertahankan oleh 2 faktor yaitu : (1) mutasi atau gen-gen baru, dan (2). Rekombinasi atau pengelompokan gen-gen. Ada kira-kira acak elemen perubahan didalam lingkungan gen populasi.

Fenotipe didalam populasi dipengaruhi oleh dua proses yang secara konstan berubah dan beinteraksi. Genotipe-genotipe mewakili gen-gen yang acak dari lungkang gen meskipun lungkang gen memiliki suatu elemen sejarah yang penting yang telah dibentuk oleh seleksi alam, yang cenderung mengurangi keacakan ini. Genotype-genotipe ini dinyatakan sebagai fenotipe yang gegas (vigourous) akan dibantu didalam yang tidak mendukung semua individu yang dihasilkan, dan seleksi ini akan mengusahakan suatu elemen pengarah keperubahan didalam lungkang gen populasi, dengan demikian populasi

secara konstan dibentuk oleh elemen-elemen genetik dan lingkuangan yang berubah-ubah. Pembentukan populasi melalui seleksi alam adalah merupakan salah satu konsep dasar didalam ekologi. Tinjauan singkat factor-faktor yang mengarah ke formulasi konsep ini adalah sebagai berikut ini: Pengamatan populasi di inggris (masa pemerintahan Raja George III) dalam 60 tahun dari 7.5 juta menjadi 14 juta, sedangkan untuk mencapai 7.5 juta membutuhkan 3000 tahun atau lebih. Malthus (1798) dengan percobaan klasiknya, ia yang mula-mula mengenal ledakan populasi dalam waktu 40 tahun. Malthus menekankan bahwa pada populasi yang tidak dikendalikan akan bertambah secara geometric, lingkungan tidak mendukung populasi yang dihasilkan sehingga pada tumbuhan dan hewan pengaruhnya adalah biji-biji terbuang, kesakitan dan kelahiran premature. Percobaan Malthus memberikan Darwin dengan jawaban untuk masalahnya bagaimana menjelaskan transmutasi spesies, dan Darwin menyadari bahwa dari populasi yang potensial besar hanya organisme yang terbugar yang sintas, sejak itu tidak ada cara pengukuran kebugaran dengan sintasan, "Sintasan terbugar Darwin" (Darwin's survival of the fittest). Adaptasi biasanya dilukiskan sebagai setiap kualitas atau organisme, populasi atau spesies yang bertambahnya kesempatan progeny terhidupkan (viable progeny) yang tertinggal.

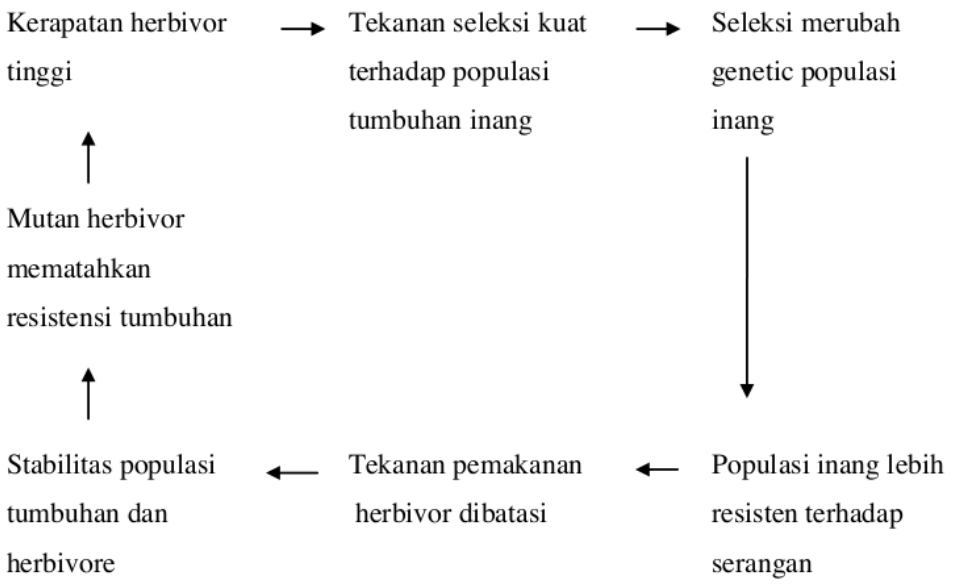
Kebugaran dapat didefiniskan sebagai kemampuan suatu individu atau populasi meninggalkan progeny yang terhidupkan dihubungkan dengan yang lainnya, dengan demikian keragaman genotype didalam populasi dihasilkan oleh mutasi dan rekombinasi dan dikurangi oleh mortalitas tipe maladaptasi yang disebabkan oleh factor lingkungan. Ini oleh Mayer (1963) disebut seleksi alam keabadian diferensial genotype.

5. Umpan Balik dan Keseimbangan

Mendalami proses seleksi alam dapat diperoleh dengan mempertimbangkan konsep dasar tambahan yaitu umpan balik dan keseimbangan. Tidak ada spesies dapat sintas apabila ia berlimpah karena yang akan menjadi hambatan adalah suplai makanan. Pada akhirnya adalah kepunahan, dan seleksi akan menentukan organisme tersebut, oleh Karena itu secara umum lup umpan balik dan mekanisme pengendalian yang menuntun ke keseimbangan didalam lingkungan, yang dikenal dengan "keseimbangan alam".

Pimentel (1968) menyimpulkan perubahan dalam jumlah populasi dengan pernyataan "stabilitas dan kekonstanan adalah karakteristik populasi alam". Konsep

Pimentel tentang umpan balik dapat membantu kita untuk mengerti keseimbangan ini (Gambar 2). Umpan balik ini dapat positif atau negative, sehingga adaptasi dapat memperbaiki dan pengaruh-pangaruh yang merusak dapat ditekan.



Gambar 2. Mekanisme Umpan Balik Genetik yang Beraksi Secara Negative Menurunkan Kerapatan Herbivor. Garis putus-putus menunjukkan permulaan fase kedua didalam sengkelit (loop) umpan balik yang mana gen mutasi membolehkan individu menghancurkan resistensi tumbuhan. Seleksi alam bagi keturunan individu menuntun lagi kerapatan herbivor yang tinggi.

Umpan balik menuntun kestabilian yang dapat melibatkan pengaturan jangka pendek didalam komunits. Sebagai contoh apabila mangsa berkurang predator dapat merubah perilakunya dengan mencari dan makan mangsa dari spesies lain. Pengaturan ini akan membantu tekanan predator terhadap spesies pertama yang kemudian bertambah dalam kerapatan, sedang yang spesies baru yang menjadi mangsa predator semakin banyak di mangsa dan kerapatannya menurun. Populasi mangsa menjadi seimbang dan mangsa berfluktuasi kecil.

6. Evolusi

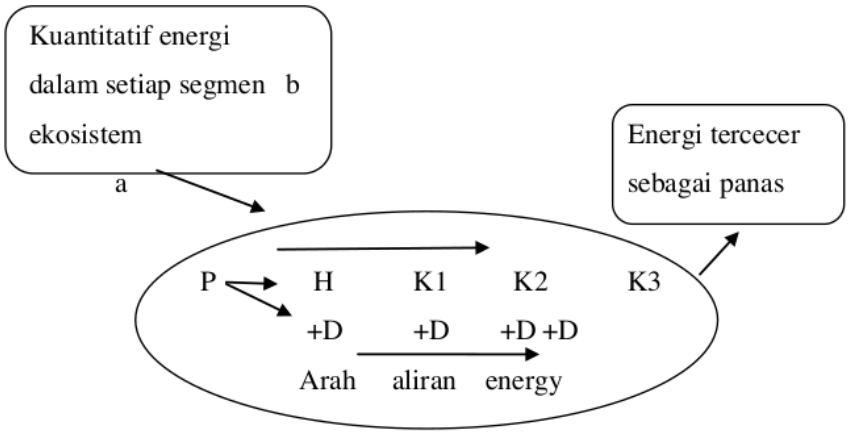
Evolusi atau pengaturan jangka panjang didalam populasi mungkin di pengaruhi melalui suatu mekanisme umpan balik, yang mana agenseleksi cukup berat atau persisten merubah populasi secara permanen, sebagai contoh, myxomatosis sejenis penyakit pada kelinci yang ditularkan oleh pinjal di eropa. Sebelum penyakit dimasukkan kesana, secara normal kelinci berkembang biak di sarang didalam tanah. Perilaku ini membawa kelinci selalu terjadi kontak dengan vector penyakit yang berkembangbiak pada serasah dan dihasilkan dari seleksi yang kuat pada kelinci-kelinci ini yang berlindung dan berkembangbiak diatas tanah. Disini pinjal kurang berkontak dengan inang yang baru dan siklus penyakit-vektor-kelinci secara efektif dipatahkan, namun ada factor-faktor lain terlibat dalam epidemiologi myxomatosis, dan ini hanya mewakili salah satu sengkelit umpan balik dalam perubahan evolusi populasi kelinci terinfeksi, jadi aksi pathogen dan vector serangga merubah ekologi kelinci. Dan melalui seleksi –umpan balik genetic-patogen dan serangga diredusir jumlahnya baik dengan perubahan perilaku didalam populasi kelinci maupun dengan meningkatnya resistensi terhadap pathogen. Baik factor-faktor kuantitatif (besar populasi) maupun factor-faktor kuantitatif (perubaha perilaku) terlibat dalam mekanisme pengendalian ini.

7. Aliran Energi

Konsep dasar lain dalam ekologi adalah aliran energy nelalui ekosistem, dan hal ini adalah kontras dengan siklus kimia didalam system. Hukum Termodinamika I menyatakan bahwa energy tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan. Hukum Termodinamika II menyatakan bahwa setiap transformasi energy potensial, energy dikurangi karena dalam proses energy panas hilang ke system. Jadi sebagai makanan yang lewat dari satu organisme ke yang lain energy potensial terhadap dalam suplai makanan diredusir secara bertahap sampai semua energy didalam system menjadi tersebar sebagai panas (Gambar 3). Oleh karena itu ada aliran energy satu arah melalui ekosistem dengan tidak ada kemungkinan bagi setiap daur ulang energy.

Sebaliknya, senyawa kimia tidak tercecer atau hilang dan tinggal tetap didalam ekosistem secara tidak langsung jika tidak erosi terjadi didalam system (Gambar 4). Erosi termasuk pergerakan alam keluar dari system seperti dalam air, di darat, di udara, fan

pergerakan yang disebabkan oleh manusia. Kurang erosi senyawa kimia akan secara konstan bersirkulasi atau berdaur ulang didalam system.

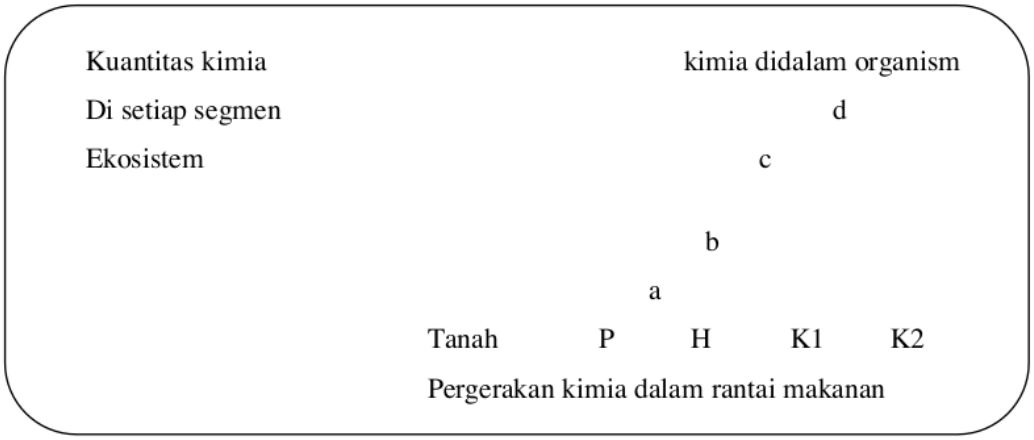


Herbivor-herbivor, karnivor-karnivor, detrivor-detrivor.

Gambar 3. Pemanfaatan Energy Saat Mengalir Didalam Ekosistem. Diduga semua energy potensial dikonsumsi baik hidup maupun mati, tidak ada yang disimpan. Pada setiap tingkatan trofik ada energy hilang sebagai panas (a), dan energy hilang sebagai panas disetiap transformasi dari satu tingkatan ke yang berikutnya (b). Akhirnya semua energy di system tercecer sebagai panas. Jadi system hanya dapat dipertahankan oleh suatu suplai energy dari luar.

Ekologi sebagai suatu subjek memiliki banyak karakteristik stimulasi, pertama, membutuhkan suatu sintesis sains biologi. Ekologi membentuk suatu persatuan dengan teori evolusi, biologi populasi dan genetik, perilaku dan ethologik. Semua subjek ini meningkatkan interaksi antara sains yang ditentukan oleh taksa seperti zoology, botani dan entomologi. Ada suatu kemudahan tertentu dalam penemuan bahwa ekologi mengizinkan suatu pelarian dari displin berorintasi secara taksonomi. Sebagai contoh didalam ekologi serangga, tumbuhan-tumbuhan yang bertindak sebagai makanan dan perlindungan bagi serangga harus di kaji, burung-burung dan mamalia yang makan pada serangga harus dimengerti. Suatu pendekatan ekologi komparatif mengizinkan suatu perbandingan rasional singa dan kutu, sebagai contoh didalam strategi untuk mendapatkan makanan atau untuk meninggalkan keturunan yang terhidupkan. Juga perbandingan bentuk dan fungsi

spesies mengupayakan lebih banyak alat yang tangguh untuk menginterpretasikan observasi-observasi dari pada observasi satu spesies dalam waktu bersamaan. Siklus kimia dalam ekosistem dengan perkiraan tampa erosi dapat diikuti pada gambar 4.



Gambar 4. Siklus Kimia Didalam Ekosistem dengan Perkiraaan Tidak Ada Eerosi Kimia didalam organism tidak dikonsumsi oleh tingkatan trofik lebih tinggi (a-d) perlahan-lahan kembali ke dalam tanah setelah pembusukan.

Akhirnya, berpikir secara ekologi memampukan suatu konsep holistic organism didalam ekosistem. Tekanan-tekanan yang mana tumbuhan-tumbuhan dan hewan-hewan yang terekspose ke dalam mana meraka harus beradaptasi dan berevolusi dapat dihargai. Karena itu jangan dilupakan bahwa tumbuhan makanan dan serangga berevolusi selama ribuan tahun, sehingga banyak factor-faktor sejarah yang telah menuntun ke hubungan yang Nampak sekarang ini. Kita hanya pengamat sementara waktu dari pergerakan alam yang abadi.

Pertanyaan:

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan ekologi
2. Sebutkan dan jelaskan komponen system kehidupan
3. Dimana posisi serangga dalam rantai makanan? jelaskan dengan gambar
4. Jelaskan sumber energy dalam komunitas, berikan contoh dalam rantai makanan

BAB II
HUBUNGAN TROPIK DAN STRUKTUR TROPIK KOMUNITAS

Sejak makanan adalah esensial bagi semua organism, hubungan pemakanan telah menjadi focus sentral diantara para ekologiwan. Para ekologiwan yang mencari pola-pola di alam mengakui bahwa makanan sebagai suatu pengaruh pengatur didalam komunitas. Mereka melihat bahwa pemakanan menuntun kehubungan-hubungan yang dapat diramalkan antara tingkatan tropic, dalam jumlah relative organisme, strategi mencari makan, koevolusi, dan aliran energy. Didalam banyak komunitas serangga memainkan peran sebagai herbivore dan predator dan pada gilirannya membentuk suatu sumber makanan bagi organisme lain. Interaksi antara serangga dan tumbuhan makanannya, dan serangga dan predatornya dengan cara ini pengaruh nyata jumlah energy yang melewati dari satu tingkatan trofik ke yang lainnya.

1. Rantai Makanan

Makanan menjadi suatu isu penting atau sentral didalam ekologi karena kekurangan makanan akan membatasi peningkatan populasi, bila tidak ada yang mencegah pertumbuhan populasi sebelum factor ini berakhir. Oleh karena itu dalam mencari pola-pola sederhana di alam, adala wajar memfokuskan perhatian mula-mula pada produksi dan konsumsi makanan, yaitu apa yang dimakan oleh organism, dan pada gilirannya apa yang makan organism-organisme ini. Ini adalah hubungan trofik, dan dengan menganalisis hubungan-hubungan ini didalam suatu komunitas suatu gambaran dapat diperoleh tentang struktur trofik komunitas itu. Elton (1927) adalah yang mula-mula menggunakan istilah rantai makanan (food chain) yang menyatakan hubungan pemakanan antara organisme sebagai makanan melalui jalur dari tumbuhan keherbivor, kemudian kekanivor dan kemungkinan kekanivor yang lebih tinggi tingkatannya sebagai contoh:

(1) . Pohon pinus → aphids → laba-laba → cicada → burung elang

Contoh diatas menggambarkan juga posisi yang tepat bagi serangga dan arthropoda lainnya didalam rantai makanan, dan bagaimana serangga menjadi hubungan-hubungan yang penting didalam pergerakan energy di komunitas. Contoh lain:

(2) . Jagung → Ulat tongkol Jagung → Parasit Ichneumonid → Burung Pipit → Burung Elang

(3) . Biji jagung → Kkumbang Biji jagung (herbivor carabid) → kumbang carabid yang makan pada telur& larva kumbang biji jagung (predator) → Hewan Pengerat → Burung Hantu

a. Posisi Serangga dalam Rantai Makanan

Serangga sering posisinya cocok pada hubungan kedua dan ketiga dalam rantai makanan. Ada pengecualian tetapi sebagian besar kasus cocok pada posisi ini. Oleh karena itu, serangga harus dipertimbangkan sebagai factor vital dalam komunitas darat (terrestrial) dan juga pada akuatik.

b. Sumber Energi

Pertanyaan: apa sumber utama energy yang melalui komunitas?

Menurut hukum Termodinamika I, energy tidak dapat dihasilkan, oleh karena itu harus ada tersedia dalam jumlah yang besar untuk menopang biosfer. Sediaan tersebut adalah matahari. Energi radiasi dari matahari dipakai untuk menggerakkan proses fotosintesis yang memproduksi karbohidrat dari air dan karbon dioksida yang dimediasi oleh klorofil yang ada pada butir hijau daun. Jadi matahari harus jelas ada didalam setiap rantai makanan, seperti:

Matahari → jagung kumbang biji jagung → predator kumbang carabid → hewan pengerat → burung

2. Konsep Tingkatan Tropik

Konsep tingkatan tropic mengategorikan hubungan-hubungan ini dalam rantai makanan ke tingkatan hirarki berikut ini:

Produser	Tumbuhan dan beberapa bakteri (menghasilkan makanan)	
Konsumen	Semua organism lain mengkosumsi makanan	
	Konsumen primer	Herbivor
	Konsumen sekunder	Karnivor
	Konsumen tertier	Karnivor

Kecuali, apabila tumbuhan termasuk parasit seperti fungsi parasitic maka konsumen kedua juga herbivore, tetapi hal ini langka, sedangkan pengorganisasian ini mengupayakan batasan kerja yang berharga untuk memikirkan tentang hubungan pamakanan, ada kesulitan-kesulitan mencocokan contoh-contoh nyata didalam system.

3. Posisi Omnivor

(1) . Dimana posisi yang cocok bagi omnivor?

Mereka makan sekurang-kurangnya pada dua tingkatan tropic, dan sebagian besar hewan adalah omnivor selama masa hidupnya. Ada tiga contoh sebagai berikut:

a. Fox diperbatasan lautan Arctik bagian timur Greenland, dimusim dingin meraka adalah saprofagus makan anjing laut yang masih tersisa dan kotoran beruang, sedangkan di musim panas meraka makan burung, seranggan dan bahan tumbuhan, agak membingungkan kalau selama musim panas meraka merupakan bagian dari rantai makanan terrestrial sedangkan selama musim dingin ketika mereka memaksa mencari makan, mereka menjadi bagian dari rantai makanan laut atau akuatik.
b. Rusa merah selama dalam periode pertumbuhan cabang tanduk sebelum musim berpacaran meraka bukan hanya makan rumput dan herba tapi juga perlu diet tambahan seperti katak, serangga dan protein hewan lain.
c. Serangga merupakan contoh omnivore yang terbaik. Banyak serangga holometabola (serangga yang memiliki stadia larva yang secara radikal sangat berbeda dalam bentuk dari imagonya), memiliki larva yang makan pada satu tingkatan tropic dan imago yang

lain. Ada tiga contoh berikut ini. Pada contoh (i) imago makan pada tingkatan tropic yang biasa sedangkan pada contoh (ii) dan (iii) imago makan pada tingkatan yang lebih tinggi. Karena sering suplai makanan kurang maka serangga holometabola, stadia larva dan imago makan pada makanan yang berbeda untuk menghindari setiap kesempatan berkompetisi makanan didalam spesies. Ini merupakan suatu adaptasi yang memberikan sumbangan terhadap kelimpahan dan berhasilnya spesies-spesies ini, yang merupakan 85 % dari seluruh serangga, bukan saja kompetisi antara yang muda dan orang tua yang berkurang tetapi juga larva menjadi pemakan spesialis dan imago sebagai penyebar dan penghasil gamet. Sisa serangga yang 15 % adalah hemimetabola yang stadia pradewasa (nimfa) adalah serupa dengan imagi dalam morfologi dan ekologi.

(2). Kesulitan yang kedua adalah dalam penempatan spesies yang secara seksual berbeda dalam makanan yang terjadi, biasanya satu tipe adalah omnivore. Pada beberapa spesies lalat penggigit (contoh; lalat hitam dan nyamuk) hanya betina yang makan darah. Pada beberapa hymenopteran parasitic betina makan pada inang yang dua letakkan telurnya sedangkan jantan adalah herbivore dan makan nectar dan embun madu (contoh: ichneumonidae, Chalcidoidea). Dialam ditemukan jeni makanan serangga pradewasa dan dewasa berbeda, umumnya ditemukan pada kelompok serangga yang memiliki habitat berbeda antara pradewasa dan dewasa, misalnya ordo diptera, leidoptera, coleoptera, odonatan dll. Contoh pada ordo Diptera dapat diikuti pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis makanan serangga pradewasa dan dewasa berbeda.

Famili/superfamili	Makanan larva	Makanan imago
i. Parasit Hymenoptera contoh: famili Ichneumonidae	Inang serangga	Nektar& embun madu
ii. Nyamuk, contoh Culex &Anopheles spp	Plankton & alga di dasar (aquatic) Hewan & Tumbuhan dalam kotoran sapi	Darah vertebrata dan invertebrate (terrestrial) darah vertebrata

iii. Kebanyakan

Lalat, contoh:

Muscidae (lalat kandang)

3. Spektrum Trofik

Ada bukti-bukti bahwa beberapa ordo serangga memiliki suatu pilihan yang utama pada satu tingkatan trofik, tetapi pada tingkatan family pada umumnya pola pemakanan adalah lebih dominan (Tabel 2) bahkan pada tingkatan klasifikasi ini banyak tingkatan trofik sering diwakili dan ukuran takson harus selanjutnya dikurangi untuk mendapatkan kecocokan yang lebih baik ke dalam system tingkatan trofik. Akhirnya seperti omnivore yang disebutkan diatas, sekalipu hanya spesies tunggal tidak dapat ditempatkam dalam satu tingkatan trofik tunggal.

Tabel 2. Contoh-contoh Taksa Serangga Herbivore dan Karnivor.

Takson	Herbivor	Karnivor
Ordo	Homoptera	Odonata
	Isoptera*	Anoplura
	Psocoptera*	Strepsiptera
	Lepidoptera	Mecoptera
Subordo	(Hymenoptera) Symphita	(Hymenoptera) Apocrita+
Famili	(Coleoptera) Cerambycidae	(Coleoptera)
Coccinellidae+		
	Chrysomelidae	Carabidae+
	Curculionidae	
Staphylinidae+		
	(Hemiptera) Miridae	(Hemiptera) Anthocoridae
	Lygaeidae	Reduviidae
	Tingidae	Phymatidae
	Corimelaenidae	Nabidae

Catatan: *) Beberapa anggota takson diklasifikasikan kedalam saprofagus karena meraka secara dominan makan pada bahan organic mati

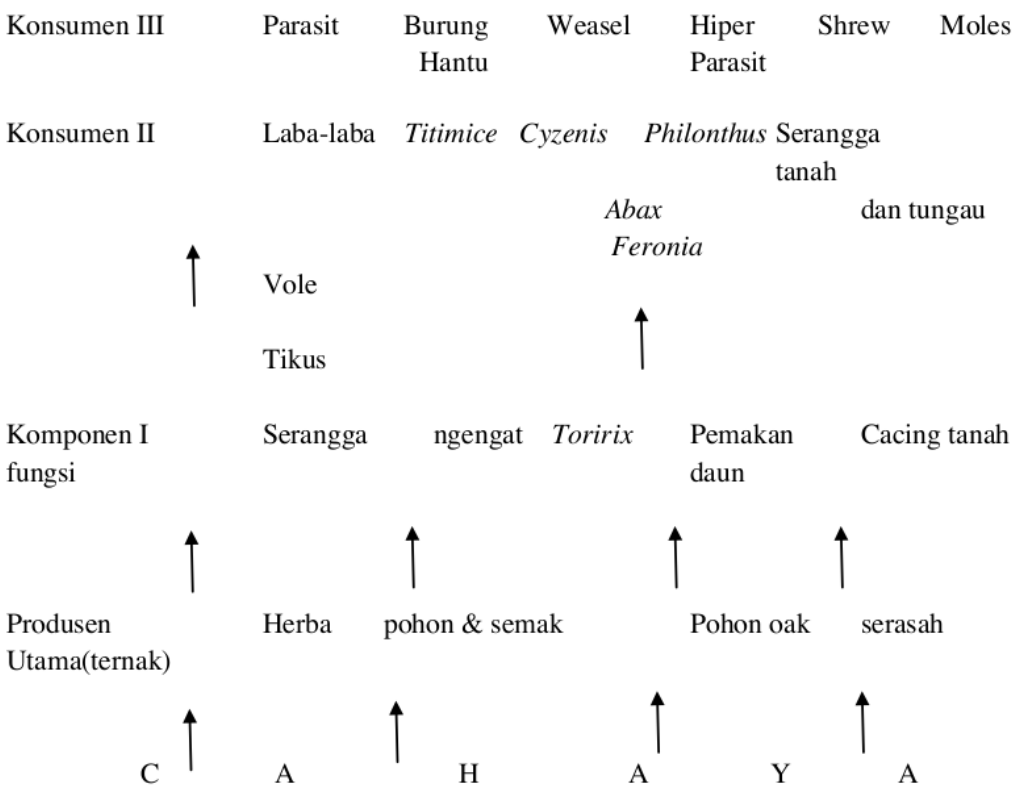
+) Kekecualian penting ada didalam taksa ini.

Apabila hewan puncak atau yang pada posisi teratas diberi perhatian dan kebiasaan makan ditelusuri kebelakang sampai keprodusen, kadang-kadang ada hubungan linear yang sederhana dalam hubungan pemakanan. Predator puncak biasanya hewan yang besar, punya tantangan social bagaimana eratnya meraka berada di suatu area. Ada peribahasa Tionghoa mengatakan bahwa" Satu bukit tidak dapat melindungi dua harimau", yang terilustrasi maksudnya dengan baik. Predator puncak memerlukan jumlah yang besar hewan makanan, dia tidak mampu mengupayakan kespesialis makanannya, yang biasanya mamalia kecil, burung-burung, atau ikan, karena populasi mangsa ini berfluktuasi dan beberapa spesies kadang-kadang menjadi langka, dan juga semua bahan makanan ada yang dapat menghindar dan ada yang memiliki mekanisme pertahanan. Predator puncak harus menjadi yang oportunis, mangsa harus di dapat bagaimana caranya kalau meraka tersedia, bagi seekor burung hantu saat ini seekor tikus yang sakit, kemudian seekor tikus muda, selanjutnya seekor ular yang sedang makan katak besar dan seterusnya. Singa sebenarnya akan memburu dan membunuh sebra, binatang buas, tetapi meraka mengambil bangkai yang diburu anjing yang telah diburu dan dibunuh, dan mengambil kerbau air yang telah dibunuh buaya.

4. Jaringan Makanan

Predator puncak makan pada mangsa yang beragam dan mangsa ini juga makan pada organism lain yang beragam. Organisme lain ini dapat lebih spesialis sebagai makanan mungkin lebih berlimpah, dan yang tingkatan lebih bawah masih herbivore yang cenderung spesialis berbeda dalam memilih makanan. Selain rantai makanan ada juga jejaring atau jarring-jaring makanan (food webs) dengan banyak hubungan-hubungan pemakanan didalam komunitas. Predator puncak agak besar dan penyebaran jarang, sedangkan herbivore agak kecil dan umum dijumpai (Gambar 5).

beberapa hubungan hanya mengacu pada spesies bukan kelompok spesies untuk menghemat ruang. *Cyzenis* adalah parasitoid tachinid ngengat musim dingin, *Philonthus* adalah kumbang staphylinid, *Feronia* dan *Abax* adalah carabid, dan Tortix adalah larva Lepidoptera. Parasit dan parasitoid posisinya sama dengan predator.



Gambar 5. Hubungan Pemakanan Antara Beberapa Komponen Komunitas Hutan di Wytham Oxfordshire.

5. Piramida Jumlah

Elton (1927) yang menyebutkan ini piramida jumlah. Piramida jumlah menunjukkan jumlah organisme individu pada setiap tingkatan trofik. Sebagai contoh, ekosistem padang rumput, produsen adalah rumput yang ukurannya kecil oleh karena itu diperlukan jumlah yang banyak untuk menopang konsumen pertama (herbivor). Sebaliknya dalam ekosisten hutan, produsen adalah pohon yang berukuran besar, satu pohon tunggal dapat menopang banyak herbivore. Demikian pula halnya dengan predator yang biasanya

memiliki tubuh yang besar dari mangsanya, dengan demikian jumlah individu didalam populasi predator lebih kecil dari jumlah populasi mangsa. Didalam satu kolam terdapat jutaan protozoa, ratusan ribu *Daphnia* dan *Chclops* sedangkan hanya beberapa larva kembang air dan sangat sedikit ikan kecil.

Robinson (1953) mengkaji fauna pada cairan kental warna coklat dan yang mengeras seperti lender pada pohon elm untuk menggambarkan lebih baik piramida Elton (Gambar 5). Satu cabang pohon dirobek terjadi luka dan cairan kental warna coklat keluar dan mengalir kebawah dan mengeras seperti lender (flux), ini dapat mendukung delapan antropoda: satu tungau fitofagus didalam bahan getah yang telah mengeras atau flux, enam larva dipteran didalam materi flux (tiga fitofagus, tiga karnivor), dan satu kumbang staphylinid karnivor pada permukaan flux, ternyata ini terdiri dari satu produsen, empat herbivor dan empat karnivor, dan adalah kebalikan dari piramida dasar. Ini sering dijumpai apabila herbivor adalah kecil hubungan dengan tumbuhan makanan atau mengenai organisme parasit.

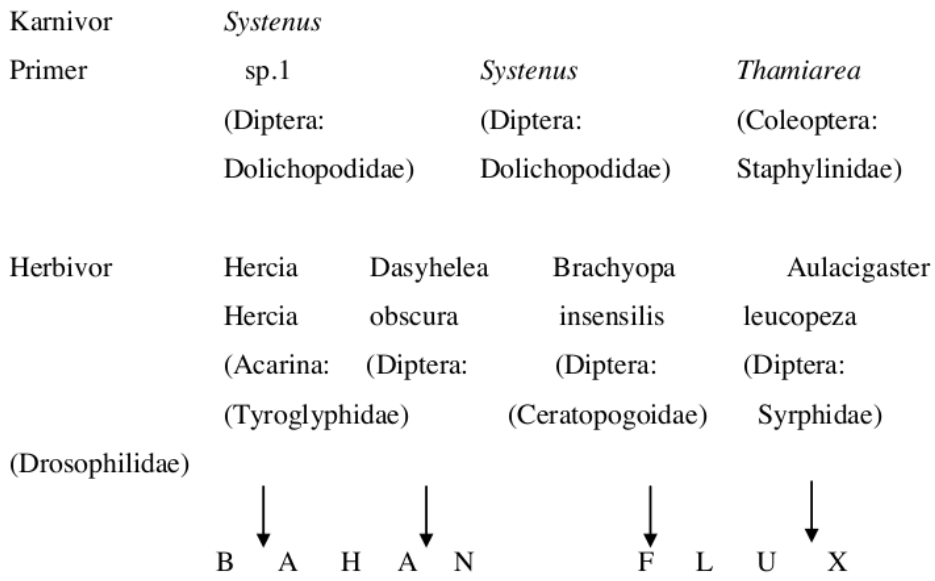
6. Piramida Biomosa dan Energi

Salah satu cara yang lebih baik mengkuantifikasi jumlah protoplasma dalam setiap tingkatan trofik adalah dengan menimbangnya. Berat dari organism hidup disebut biomosa. Dengan demikian masalah dapat diselesaikan. Pohon elm kira-kira 27 ton metrik ton, herbivor pada pohon elm ditimbang 5 g, dan predator 0,5 g.

Odum (1957) mempelajari komunitas lapang yang tua di Georgia, ditemukan hubungan biomosa sebagai berikut: Produsen – 500 g berat kering/m2, herbivore – 1 g berat kering/m2, dan karnivor primer – 0,001 g berat kering/m2 . Contoh ini cocok dengan konsep piramida secara sempurna, tetapi masih banyak kekecualian – kekecualian (Gambar 6), dan cara yang lebih baik harus didapati untuk menghitung makanan yang tersedia pada satu tingkatan trofik yang dikonsumsi oleh organism pada tingkatan yang lebih tinggi.

Hubungan makanan diidentifikasi.

Karnivor	*Phaonia sp*
Sekunder	(Diptera: Anthomyidae)



Gambar 6. Piramida Jumlah Elton Terlihat pada Lender coklat pada Pohon Elm di Inggris.

Mengenai urutan hubungan biomasa antara karkas tikus dan bangkai kumbang Necrophorus, pada tingkatan mula-mula hubungan, dengan telur pada karkas, biomasa diatur secara pyramidal, tetapi ketika pemakanan lengkap kebanyakan biomasa adalah dalam bentuk bangkai kumbang besar. Bentuk pyramid berubah cepat selama waktu pemakanan. Piramida terbalik dapat juga terjadi apabila digunakan biomasa. Contoh yang baik adalah biomasa fitoplankton yang menopang biomasa zooplankton yang lebih besar sebab laju produksi fitoplankton sangat tinggi dan secara relative tanaman tegakan kecil (biomasa yang ada pada setiap waktu) proses sejumlah besar energy (Gambar 7).

a. Karnivor primer 0,1
   Herbivor 1
   Produsen 500
   Di lapangan tua Georgia – g berat kering/m2
b. Karnivor primer (ikan pelagis) 1,8
   Herbivor (zooplankton) 1,5
   Produsen(fitoplankton) 0,4
   Kanal Inggris – biomasa – g berat kering/m2

c. Karnivor primer 0,0016

Herbivor 0,15

Produsen 0,4

Kanal Inggris – produksi – g berat kering/m2/hari

Gambar 7. a. Piramida Biomasa; b. Piramida Biomasa Terbalik; c. Piramida Produksi/Energy

7. Metoda atau Cara Mengkaji Tingkatan Trofik

Ada 4 cara yang utama mengkaji hubungan trofik:

(1) Menggunakan pengamatan langsung seperti pengamat burung lakukan, dengan menggunakan kamera untuk merekord kejadian

(2) Menganalisis saluran pencernaan atau usus, sampel yang potensial dikoleksi di lapang dan dibandingkan dengan fagmen atau pecahan makanan dalam usus hewan yang dipelajari, hal ini dapat dilakukan pada burung dan kelelawar yang makan serangga dan serangga besar yang menggunakan makanan tumbuhan, contoh belalang dewasa atau nimfa instar 4. Persiapan dapat juga dilakukan dari permukaan bawah dan atas helaian daun dari semua rumput dilapangan. Dengan demikian dapat ditentukan persentase dari setiap spesies rumput didalam die belalang. Ketelitian identifikasi biasanya lebih 80% bagi beberapa spesies.

(3) Menggunakan analisis pelacak radionuklida, pada kebanyakan serangga dan arthropoda lain tidak mungkin mengidentifikasi pecahan-pecahan makanan yang terlalu kecil, serangga telah makan pada makanan relative tak berbentuk atau makanan cair, maka pelacak radionuklida yang dapat dipakai. Tumbuhan diberi label dengan ^{32}P pada lubang di batang. Satu lubang dibuat sekitar pangkal pohon dan diisi dengan air, dasar lubang dibuat goresan-goresan dan kemudian isotop ditambahkan dan larutan ^{32}P air diserap masuk kedalam tumbuhan dengan tekanan traspirasi negative, kemudian lubang ditutup. Dengan waktu isotop menyebar keseluruh tanaman dan dapat dihitung dengan detector, juga organisme sekitar tumbuhan yang dilabel dapat dikoleksi selama waktu tertentu dan meraka yang

sudah terlabel telah jelas memakan bagian tumbuhan. Jumlah relative pemakanan dapat diperoleh melalui pernyataan hitungan per menit per milligram berat kering. Sekali herbivore telah dilabel, predator dapat diidentifikasi dengan cara yang sama.

(4) Menggunakan teknik serologi, penggunaan test presipitin memberikan suatu indikasi sensitive secara ekstrim hubungan trofik, tetapi ini hanya biasa dipakai sebagai record positif atau negative, pada dasarnya suatu antigen dipersiapkan dari spesies mangsa yang akan dikaji, diinjeksikan ke kelinci untuk menghasilkan antibody, antibody kemudian dipakai untuk menguji isi usus predator potensial. Reaksi presipitin positif mendemonstrasikan bahwa predator memiliki bagian-bagian mangsa (antigen) didalam ususnya.

8. Kecenderungan Karakter Organisme dalam Tingkatan Trofik

Dengan melihat lebih dekat ke organisme, kecenderungan atau trend dalam karakteristik tingkatan trofik progresif menjadi bukti. Trend ini biasanya dapat diaplikasikan tetapi ada beberapa kekecualian. Banyak karakteristik yang erat berhubungan, sebagai contoh bertambah ukuran tubuh, tenaga untuk menyebar lebih tinggi, laju reproduksi lebih rendah, harapan hidup lebih panjang adalah semua diatur oleh setiap satu kualitas. Dari herbivor ke karnivor puncak kecenderungan berikut ini betul terjadi:

(1) Spesies sedikit
(2) Tingkatan populasi lebih rendah
(3) Laju reproduksi lebih rendah
(4) Ukuran tubuh bertambah
(5) Areal pencaharian makanan bertambah
(6) Tenaga pemancaran bertambah
(7) Kemampuan mencari lebih tinggi
(8) Biaya(energy) pemeliharaan lebih tinggi
(9) Efisiensi penggunaan makanan lebih tinggi
(10) Makanan nilai kalori lebih tinggi
(11) Pesialisasi pemakanan berkurang
(12) Prilaku lebih kompleks
(13) Harapan hidup lebih Panjang

Kecenderungan sedikit spesies dan spesialisasi pemakanan berkurang dengan tingkatan trofik progresif kelihatannya ditunjang oleh ukuran-ukuran family serangga. Banyak family herbivor adalah besar dan terdiri dari spesies yang spesifik dalam preferensi makanannya, sebagai contoh Cicadellidae (Jassidae), Aphididae, Chrysomelidae, Cerambycidae, Curculioidae, Scolytidae, Cecidomyiidae, dan Mycetophilidae. Famili-famili dengan serangga predator sering lebih kecil: contoh Reduvidae, Nabidae, Chrysopidae, Coccinellidae, dan Aslidae. Famili besar Carabidae, anggota-angotanya ada yang terkenal sebagai predator mungkin menjadi kekecualian pada trend ini. Namun banyak spesies adalah omnivore atau saprofagus fakultatif (makan bahan organic mati).

Serangkaian trend yang perlu dipertimbangkan adalah dalam strategi pemakanan dengan bertambahnya ukuran hewan. Pada umumnya kemajuan ini adalah:

Herbivor ⟶ Karnivor ⟶ Omnivor ⟶ Herbivor

Karena hewan menjadi lebih besar dan lebih besar. Serangga adalah terutama seperti yang digambarkan pada trend diatas, karena ukuran besar menyebabkan difusi oksigen lambat ke dalam sel, berat bertambah dengan pesat, pergerakan menjadi lambat dan kaku, serangga yang terberat adalah kumbang scarabaeid Goliathus goliathus yang makan pada bahan tumbuhan, dan serangga besar di Inggris kumbang pemakan tumbuhan Lucanus cervus. Predator serangga terbesar adalah lebih ringan dalam berat dari pada kumbang goliath, contoh belalang sembah (mantids) dan cerabids seperti Calosoma sycophanta Serangga kecil seringkali herbivore seperti wereng, aphids, kumbang, larva lalat. Serangga kecil dapat predator tetapi serangga amat besar tidak.

Trend ini lebih dapat diaplikasikan kepada terestial dan hubungan makanan air tawar. Seperti ikan paus baleen salah satu kekecualian di lautan, mereka makan pada krill, udang dan zooplankton.

9. Guild

Peranan organisme didalam komunitas erat terikat pada hubungan pemakanan mereka, dan demikian relung suatu proses spesies telah secara tradisional dalam istilah kebutuhan makanan dan bagaimana hal ini terkait pada kebutuhan spesies lain. Secara ekologi, karena spesies dengan hubungan taksonomi yang amat berbeda dapat erat terkait secara ekologi

dalam istilah hubungan trofik, kebutuhan ada untuk mempertimbangkan kelompok-kelompok serupa secara ekologi sebagai unit dalam analisis komunitas. Root (1967) dalam Price (1975) telah mendefinisi unit seperti itu atau "guild" sebagai suatu kelompok spesies yang mengeksploitasi sumber lingkungan dari kelas yang sama dalam cara yang serupa. Root mempelajari komunitas arthropoda pada tanaman kubis Brassica oleracea, dia mengidentifikasi guild-guild yang berasosiasi dengan daun kubis sebagai berikut ini :

(1) Guild pemakanan berbentuk lubang (pit), kumbang, kumbang "flea" kumbang bubuk (total ada 18 spesies), yang makan pada daun menimbulkan gejala bercak-bercak kecil, biasanya tanpa melubangi kedua permukaan.

(2) Guild pemakanan berbentuk garis (strip), larva Lepidoptera, dan Orthoptera (total ada 17 spesies), yang mengunyah sisi daun meninggalkan gejala dalam bentuk garis.

(3) Guild pemakanan sap, aphids, wereng, kepik mirids, psyllids, tingids (total ada 59 spesies, pemakanan pada sap) menggunakan bagian mulut penusuk pengisap. Banyak guild serangga dapat berada pada satu tumbuhan tunggal. Sebagai tambahan dari tiga tadi : ada guild penggerek batang, pemakan akar, pemakan biji, polen dan guild pengumpul nectar. Keragaman tipe pemakanan ini besar kemungkinan sebab ukuran kecil dari banyak serangga dan adaptasi morfologi khusus pada stadia larva serangga holometabolus. Guild dapat lebih kecil lagi dari yang tersebut diatas, seperti ada 6 spesies burung didaun pohon dihutan oaks, 6 spesies kokon parasitoid pada sawfly dipohon pinus, ada 4 spesies herbivore pada "slime flux" pohon elm, dsb.

Pertanyaan

1. Apa yang anda ketahui tentang jaringan makanan?
2. Jelaskan posisi serangga dalam jarring makanan
3. Apa yang dimaksud dengan piramida jumlah dan piramida biomasa
4. Apa yang dimaksud dengan guild serta peranannya dalam komunitas.

BAB III
KOEVOLUSI TUMBUHAN DAN HERBIVOR

1. Pertahanan dan Penyerangan antara Tumbuhan dan Hewan

Menurut Erlich dan Raven (1967) dalam Price (1975), tumbuhan dan herbivore saling menghadapi kemungkinan zona interaksi yang utama untuk menghasilkan keragaman organic terrestrial. Ada pertarungan yang konstan. Mendapatkan cukup energy untuk dapat berproduksi adalah upaya pendudukan mula-mula oleh setiap anggota spesies. Sekalipun pekerjaan semut yang tidak pernah bereproduksi memiliki arah hidup demikian. Suatu individu akan tentu tidak dapat beradaptasi apabila ia mempertahankan karakter yang mudah di akses oleh spesies lain terhadap simpanan energy yang berupa protoplasma tubuhnya. Hanya kekecualian terhadap pernyataan ini dapat dilihat dalam hubungannya untuk keuntungan bersama (mutualisme), yang mana energy simpanan atau biasanya sebagai bagian dari simpanan, tersedia bagi spesies pada tingkatan trofik lebih tinggi. Dengan demikian organisme menerima perolehan yang signifikan dengan melakukan hal tersebut. Aspek koevolusi akan dibahas dalam bagian ini.

Individu-individu harus mempertahankan energy yang dikumpul terhadap semua yang menjadi konsumen. Apabila organisme pada tingkatan trofik yang lebih tinggi mematahkan pertahanan, ia mempunyai akses terhadap sumber energy yang dapat menguntungkan, selanjutnya makanan ini akan dapat dipakai bersama antara spesies lain sampai juga mereka mampu memecahkan mekanisme pertahanan. Pemenang dari lomba senjata ini menerima keuntungan yang dua kali lipat.

Tumbuhan pada produsen, organisme pertama dalam rantai makanan sebab mereka yang menghasilkan senyawa-senyawa organic, merekalah yang harus mula-mula mempertahankan diri sendiri terhadap herbivor. Suatu serangan oleh herbivor menyeleksi adaptasi untuk pertahanan tumbuhan atau bahkan serangan balasan. Siklus serangga dan serangan balik ini antara organisme yang berdekatan tingkatan trofiknya adalah esens dari proses koevolusi. Tumbuhan dan serangga sudah pada jutaan tahun sehingga hasilnya yang murni dapat diharapkan dalam interaksi masa lampau.

2. Produk Metabolic Primer dan Sekunder

Komponen dasar yang dibutuhkan tumbuhan, dan dimanufaktur oleh tumbuhan dapat diklasifikasi dalam 3 kelompok biokimia:

(1) Kelompok yang menkatalisir reaksi biokimia
(2) Kelompok yang beradaptasi dalam proses membangun didalam organisme tumbuhan.
(3) Kelompok yang mengsuplai energy

Semua tumbuhan membutuhkan ion-ion anorganik dan harus menghasilkan ensim, hormone, karbohidrat. Semua senyawa ini terlibat dalam pertumbuhan dan reproduksi tumbuhan. Namun kingdom tumbuhan terdiri dari sejumlah besar beragam senyawa kimia yang terlibat dalam fungsi utama. Kemungkinan senyawa kimia yang lain adalah hasil ikutan (by product) dan kekurangan alat untuk mengekresikannya, tumbuhan menyimpannya di setiap tempat yang sesuai didalam struktur tumbuhan. Beberapa tumbuhan menghasilkannya yang lain tidak, fenomena ini menunjukkan bahwa senyawa ini bukan bahan yang penting dalam metabolisme tumbuhan. Jenis-jenis senyawa ini disebut produk metabolic sekunder. Tumbuhan yang erat keakrabatannya seperti bersama lintasan metabolic yang serupa untuk produk primer, dengan produksi serentak produk metabolic sekunder, dengan demikian taksonomi kimia adalah uji analitik yang lebih tepat dari pada morfologi, dengan pengaruh pleiotropik yang mungkin terjadidalam fenotipe sebagai hasil mutasi gen.

3. Seleksi Inang oleh Serangga Herbivor

Serangga adalah kunci dalam system hubungan kimia antara spesies tumbuhan yang baru dalam tahap berevolusi. Sebagai contoh beberapa family tumbuhan mengandung minyak mustard, Capparidaceae, Cruciferae, Tropaeolacceae, dan Limnanthaceae dan serangga tertentu yang akan makan pada anggota dari family ini, sebagai contoh kumbang flea *Phyllotreta cruciferae* dan *P. striolata*. Minyak mustard adalah iritan dapat menyebabkan kerusakan yang serius pada jaringan hewan, dan adalah salah satu antibiotic yang paling potensi yang paling diketahui berasal dari tumbuhan. Tingkat lebih tinggi.

Famili Solanaceae adalah anggota mengandung alkaloid yang terkenal baik. Sebagai contoh bagian yang berwarna hijau dari kentang, *Solanum tuberosum* mengandung solanin, tembakau, Nicotiana spp mengandung nicotin, dan *Artropa belladonna* menghasilkan atropin dan beberapa serangga adalah terbatas dalam family ini dalam kebiasaan pemakanan. Contoh kumbang kentang Colorado, *Leptinotarsa decemlineata,* kumbang flea tertentu, dan ulat bertanduk tomat dan tembakau *Manduca ssexta* dan *M. quinquemaculata*.

Ada 2 famili tumbuhan berkerabat, Asclepiadaceae dan Apocynacaee, termasuk anggota-anggota yang memiliki sap seperti susu dan glykosida cardiac. Setiap family punya 2 herbivor serangga yang khusus dari genera Arctiidae genus Euchaetias dan, sebagai berikut:

Genus	Asclepiadaceae(milkweeds)	Apocynaceae (dogbanes)
(Euchaetias	*egle*	*oregonensis*
Cycnis	*inopinatus*	*tenera*

Tumbuhan yang erat kekerabatan menopang serangga yang erat pula kekerabatannya. Dalam evolusi perbedaan-perbedaan khusus dalam serangga, ringan tetapi permanen merubah dalam pencernaan atau enzim lain yang mengizinkan mengeksploitase tumbuhan yang erat berkerabat. Hal ini menyebabkan cepat spesiasi dalam kelompok, sekali anggota mula-mula telah menjadi toleran atau dapat memecahkan bahan toksik didalam tumbuhan ini. Frankel (1969), telah menekankan pentingnya peranan bahan atau senyawa tumbuhan sekunder dalam seleksi inang serangga herbivor.

Karakteristik produk metabolic sekunder dapat diringkaskan sebagai berikut ini:

(1) Meraka tidak esensial bagi metabolisme protoplasmic tumbuhan
(2) Tidak ada alasan bukti, apabila tumbuhan dipertimbangkannya sendiri tanpa mengacu pada organisme lain, mengapa tumbuhan harus menghasilkan mereka sama sekali
(3) Mereka adalah tidak teratur, atau kejadian sporadic, muncul pada beberapa tumbuhan atau family dan tidak pada yang lain, kenyataan ini menekankan mereka tidak penting bagi metabolisme tumbuhan.

(4) Kejadian senyawa sekunder yang sama atau yang berkerabat dalam spesies tumbuhan yang berkerabat membuat senyawa ini penting sehubungan dengan taksonomi kimia tumbuhan, meskipun beberapa senyawa telah sering ada berevolusi secara tak tergantung dengan lainnya.
(5) Banyak dari produk ini dihasilkan dalam jumlah yang banyak dan adalah secara metabolic mahal, mereka harus sedang melayani suatu sasaran/goal yang sangat berharga
(6) Banyak dari produk ini adalah toksik terhadap hewan dan tumbuhan lain atau sekurang-kurangnya sebagai repelen atau penolak.

Dari hasil observasi para peneliti dapat dinyatakan bahwa: substansi tumbuhan sekunder memiliki arti yang utama sebagai pertahanan terhadap musuh-musuh tumbuhan. Musuh-musuh ini sebagai patogen, herbivore, competitor, dan penghalang (inhibitor) biokimia pemakanan hewan atau tumbuhan disebut "allelopati"

4. Allelopati

Senyawa kimia allelopati mempengaruhi interaksi tumbuhan-tumbuhan. Sudah dikaji secara ekstensif oleh muller (1966). Beliau menekankan bahwa : signifikan allelopati terhadap teori ekologi adalah amat besar. Jumlah yang kecil dari toksin dapat bertanggungjawab pada pengurangan yang besar dari pertumbuhan tumbuhan dan dalam absorsi air dan mineral, dan dengan demikian begitu kuatnya pengaruhnya terhadap iklim mikro. Teori tradisional kompetisi, reaksi, proporsi biomasa, aliran energy, siklus mineral dan organisasi ekosistem semuanya dapat dievaluasi kembali apabila allelopati dapat didemonstrasikan.

Muller mendemonstrasikan Salvia leucophylla (Labiatae), yang merupakan semak yang mengandung terpene fitotoksik yang mudah menguap dan menghalangi tumbuhnya berbagai tumbuhan sejauh 2 m. Di bawah semak dan 2 m jarak dari semak merupakan zoa yang gundul dan nanti kira-lira 6-10 m tumbuh berbagai tumbuhan dengan suburnya. Hal ini merupakan metoda yang sangat nyata untuk mengurangi kompetisi ruang dengan tumbuhan lain, terutama terhadap air selama musim panas yang kering.

Spesies lain seperti *Helianthus anuus* dan *Leptilon canadense* menghasilkan senyawa "autotoxic" (racun yang meracuni diri sendiri). Pada pertumbuhan mula-mula tumbuhan ini toksin kemungkinan mengurangi viabilitas yang lebih muda dan lebih kecil dari spesies yang sama dan dengan demikian mengurangi kompetisi. Karena toksin terakumulasi didalam tanah sehingga ada pengaruh buruk terhadap tumbuhan itu sendiri, selanjutnya ruang yang ditempati tersedia bagi spesies yang toleran untuk mengkolonisasi.

Interaksi kompetitif ini menggambarkan begitu pentingnya senyawa kimia didalam suksesi dan kompetisi, dan dalam produksi hasil yang dapat diramalkan didalam analisis komunitas. Pentingya penggunaan allelopathi dapat pula diterapkan dalam bidang pertanian. Sebagai contoh, beberapa strain mentimun, *Cucumis salivus* dapat menghambat pertumbuhan gulma sampai 87% sedangkan yang lainnya hampir tidak ada daya penghambat. Perpaduan agen allelopathi pada kultivar mentimun akan memberikan keuntungan kompetitif bagi tanaman terhadap gulma.

5. Senyawa Kimia Sebagai Pertahanan Tumbuhan

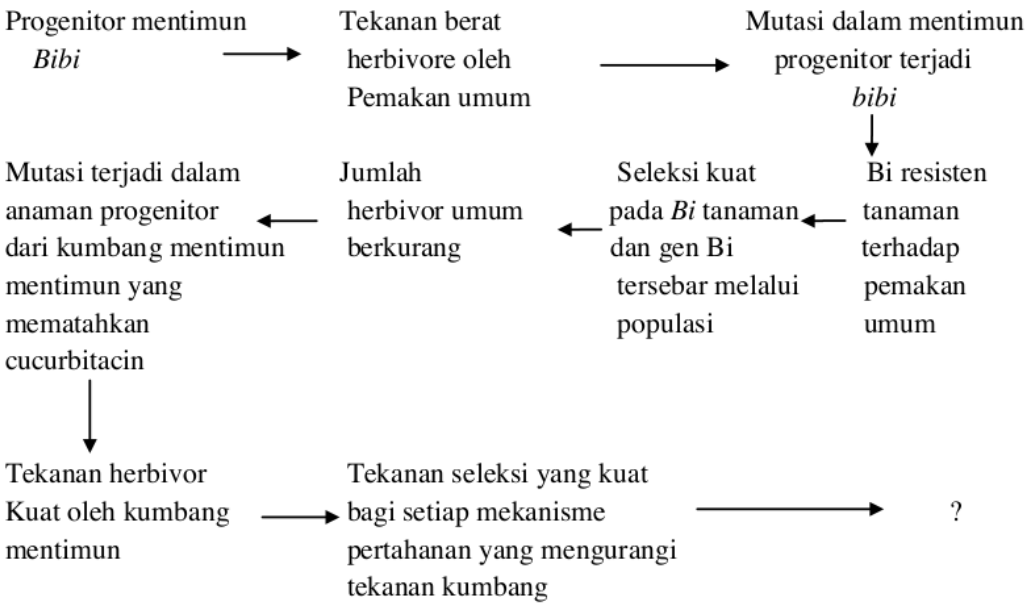
(1) Senyawa beracun dan minyak hormone

Senyawa yang serupa sekurang-kurangnya sama penting dalam pertahanan tumbuhan melawan herbivore. Salah satu contoh yang jelas, nikotin yang dihasilkan tanaman tembakau, toksin sangat efektif dalam mengurangi serangan serangga pada tanaman, dan sudah diaplikasikan sebagai insektisida oleh manusia. Phrethrin yang terdapat didalam bunga pyrethrum telah digunakan sebagai insektisida juga. Sinigrin, berupa glucosidal minyak mustard pada Cruciferae, melindungi tanaman dari sejumlah herbivore. Sesungguhnya herbivore telah dapat mengupayakan tekanan seleksi utama untuk produksi senyawa beracun yang kemudian menjadi efektif dalam interaksi tumbuhan dengan tumbuhan lainnya.

Seekor serangga betina yang akan meletakkan telurnya dapat menempatkan keturunannya pada tumbuhan pada fase produktif sehingga dapat menyebabkan kematian banyak dari biji-biji atau benih seleksi yang kuat terhadap pertahanan. Allelokimia yang mengurangi kompetisi biasanya hanya efektif setelah tumbuhan tumbuhan telah mapan pertumbuhannya, dan dikaitkan dengan penekanan kembali yang lebih lemah untuk produksi senyawa.

Tannin yang dihasilkan pada daun-daun oaks dapat mengurangi laju pertumbuhan dan berat pupa serta keperidiaan imago *Operophtera brumata* yang merupakan hama serius pada pohon oaks, yang pada gilirannya dapat menurunkan populasi hama. Endopeptidase pada biji-biji legum berfungsi sebagai inhibitor yang dapat menurunkan pencernaan senyawa nitrogen.

Tipe senyawa kimia sering bertanggungjawab untuk rasa penarik terhadap tumbuhan, seperti minyak mustard pada crucifer, tetapi senyawa yang sama dapat bertindak suatu antibiotic bagi hama bukan khusus. Dilema ini dijumpai pada mentimun, yang mana gen rasa lebih pahit, Bi, adalah dominan dan bertanggungjawab untuk produksi antibiotic cucurbitacin dan rasa lebih pahit. Tetrasiklik triterpenoid menstimulasi pemakanan oleh kumbang mentimun khusus sehingga tanaman homozygous terhadap gen resesif, bi, kurang cucurbitacin, akan menawarkan suatu cara/alat pengendalian kumbang. Namun, gen *bibi* tanaman kurang resisten terhadap hama umum seperti tungau berbecak dua. Langkah-langkah proses evaluasi secara jelas dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Tingkatan-tingkatan yang Mungkin Terjadi dalam Langkah-langkah Koevolusi Antara Mentimun dan Herbivore (Dacosta & Jones, 1971 dalam Price, 1975)

Ada banyak tumbuhan dalam suatu rangkaian kelompok taksonomi yang menghasilkan senyawa kimia dengan aktifitas hormone serangga yang kemungkinan terjadinya sudah diatur. Situasi ini hendaklah secara yakin menunjukkan konvergen strategi kekuatan perang dalam pertarungan koevolusi. Mimik hormone mungkin tipe juvenile hormon yang mempertahankan kondisi pradewasa atau tipe hormone ganti kulit yang sinkron dengan aktifitas ganti kulit, keduanya merupakan proses vital dalam perkembangan serangga.

Aktifitas juvenil telah dijumpai pada pohon fir (Abies) dan fir *Doughas pseudotsuga*. Kepik *Pyrhocoris apterus* dipelihara dan kontak dengan kertas dari kayu fir tidak terjadi dewasa tetapi berkembang menjadi nimfa raksasa. Mimik hormon ini disebut "juvabione" yang dijumpai pada kayu fir balasan Abies balsamea yang lebih disukai sebagai bahan pulp kertas.

Aktivitas hormon ganti kulit (moulting) dijumpai pada *Podocarpus*, *Polypodium* dan *Vitex*. Sejenis tumbuhan paku-pakuan yang diketahui menghasilkan derivative ekdison yang tinggi, senyawa ini sangat aktif apabila diinjeksikan kedalam belalang, namun belalang dapat memakan daun-daun paku dengan bebas karena dapat mematahkan hormon, tidak diragukan serangan balik telah berevolusi setelah senyawa seperti ekdison (ecdyson-like chemical) pada tumbuhan paku yang telah menjadi senyawa pertahanan efektif selama ribuan tahun, dan masih aktif terhadap banyak herbivor invertebrate. Kenyataan serangga makan pada vascular cryptogams sangat langkah. Ekdisterol juga dijumpai pada anggota-anggota dari family Amaranthaceae sekalipun aktifitasya sangat berbeda satu spesies serangga dengan yang lain. Ada yang insektisidal apabila diaplikasikan secara topical dan kepada yang lain menghambat perkembangan yang normal.

(2). Alokasi senyawa protektif

Diharapkan bahwa tumbuhan memberikan lebih banyak energy kedalam organ reproduktif proteksi, daripada kebagian-bagian vegetative. Organ reproduktif biasanya kecil dan mudah dirusak, kaya nutrisi dan begitu besar nilainya bagi herbivor, dan sungguh organ ini merupakan dasar dari keseluruhan eksistensi tumbuhan. Sebagai contoh: komponen aktif dalam marijuana Cannabis sativa terkonsentrasi di bunga dan biji tumbuhan. *Hypericin* agen toksin dalam *Hypericum* spesies berada pada konsentrasi 30

mikrogram per gram berat basah batang lebih bawah dan 70 mikrogram per gram berat basah pada bagin atas batang, dan 500 mikrogram per gram pada bunga.

Pyrethrin yang dihasilkan tumbuhan pyrethrum *Chrysanthenum cinerariaefolium* punya aktivitas insektisidal. Pyrethrin terkonsentrasi pada bunga dan tersebar pada biji. Banyak anggota Rosaceae menghasilkan biji-biji dengan aktivitas sianogenik (apel, almond dan peach). Tekanan herbivor dapat juga mengakibatkan polimorfisme didalam populasi tumbuhan atau alokasi berbeda pertahanan kimia antara populasi. Sebagai contoh sejenis jahe liar *Asarum caudatum* mempunyai 2 bentuk. Apabila jumlah herbivor umum siput amat rendah, bentuk tumbuhan mengalokasikan banyak energy ke laju pertumbuhan dan produksi biji adalah biasa, namun apabila siput berlimpah, tumbuhan akan mengurangi laju pertumbuhan dan produksi biji ada, tetapi lebih banyak biji ada, tetapi lebih banyak biji diarahkan ke pertahanan kimia.

3. Pemanfaatan

Produk metabolic sekunder dapat digunakan oleh serangga sebagai tanda untuk mengidentifikasi tumbuhan untuk tujuan pemakanan dan perkembangbiak, sekali serangga spesies telah berevolusi mekanisme untuk toleransi atau detoksifikasi pertahanan tumbuhan. Apabila serangga spesies mampu menggunakan tumbuhan beracun sebagai makanan dengan beberapa pengaturan fisiologis, keuntungannya adalah sekurang-kurangnya 4 kali lipat :

- Herbivor mendapat sumber makanan yang tidak dapat digunakan oleh setiap herbivore lain, dan kempetisi untuk makanan diminimalisasi.
- Makanan ini mudah dikenal oleh label senyawa sekunder
- Pemakanan ini pada makanan ini dapat juga memberikan karakteristik toksik atau tanpa rasa terhadap herbivore. Tekanan predator pada herbivore ini juga akan berkurang.
- Properti antibiotic banyak senyawa kimia toksik dapat melindungi herbivore terhadap pathogen.

4. Serangan Balik Tumbuhan

Produksi sesamin pada bunga pyrethrum yang menghambat aktivitas oksidasi sudah dikemukakan lebih dahulu. Respons serangan balik dapat dilihat pada tumbuhan

leguminosa, seperti respon terhadap tekanan herbivor oleh kumbang bruchid yang meletakkan telur pada polong legume. Pertahanan tumbuhan legum meliputi pertahanan fisik dan kimia yang secara ringkas sebagai berikut ini:

a. Beberapa spesies menghasilkan gum ketika polong biji dipenetrasi oleh larva yang baru menetas, yang dapat menolak masa telur keluar atau larva tenggelam atau menghalangi gerakan larva.
b. Polong akan pecah dan menghamburkan biji untuk menghindari larva datang di dindiing polong dan dari betina yang akan bertelur.
c. Beberapa spesies memiliki polong dengan permukaan yang licin atau tanpa lekukan sehingga beberapa bruchid tidak dapat melekatkan telur.
d. Beberapa spesies memiliki polong sulit bagi serangga meletakkan telur
e. Beberapa spesies memiliki lapisan materi pada permukaan biji yang membengkak ketika polong terbuka dan melepaskan telur-telur yang diletakkan disitu.
f. Banyak spesies memiliki senyawa beracun seperti alkaloid, saponin, gula pentosa, dan asam amino bebas (respon utama)
g. Beberapa kaya dalam penghambat endopeptidase, membuat bruchid amat sulit mencerna
h. Beberapa memiliki permukaan polong berbuluh yang dapat melepaskan telur yang diletakkan pada polong
i. Pada *Acasia* spesies biji-biji yang masih muda tetap kecil sepanjang tahun dan segera bertumbuh menjadi dewasa sebelum tersebar
j. Pada *Cassia* spesies biji-biji terlalu tipis sehingga bruchid tidak dapat dewasa didalamnya.
k. Pada banyak legume herbaseus liar biji-biji terlalu kecil sehingga bruchid tidak dapat dewasa didalamnya.

Pertanyaan:

1. Sebutkan 6 karakteristik produk metabolit sekunder
2. Jelaskan apa fungsi produk metabolit sekunder bagi tumbuhan dan herbivor.

BAB IV
KOEVOLUSI MANGSA DAN PREDATOR

1. Predasi Sebagai Strategi Eksploitasi

Dalam rantai makanan ada tingkatan trofik I yang dikenal sebagai produsen (tumbuhan alga,bakteri), tingkatan trofik II yang dikenal sebagai konsumen yang herbivore yaitu semua makhluk yang makan pada tumbuhan/alga dan tingkatan trofik III,IV, dst, adalah juga konsumen yang dikategorikan sebagai predator atau parasit. Jadi dalam rantai makanan sesudah herbivor semua makhluk hidup yang lain termasuk predator atau parasit oleh karena itu predator adalah subjek penting dalam ekologi. Parasit biasanya berasosiasi erat dengan makanannya sehingga kurang menarik untuk mengkaji cara mereka mendapatkan makanan, meskipun banyak yang dapat dipelajari dari strategi cara pemencaran mereka.

Sebagai tambahan pentingnya predator karena total konsumsi setiap organisme, tumbuhan atau hewan sebagai predasi. Dengan demikian predasi adalah isu sentral dalam memahami bagaimana energy bergerak atau berpindah melalui rantai makanan, dan dalam memahami baik strategi adaptif untuk mendapatkan makanan maupun untuk menghindari menjadi makanan. Karena makanan adalah sumber kritis bagi semua organisme, predasi harus dipertimbangkan menjadi hati pemikiran ekologi, dan ini menjelaskan mengapa begitu banyak peneliti telah menekuni subjek ini.

Pentingnya predasi sebagai strategi eksploitasi dapat diringkaskan dalam 4 kategori utama yaitu:

(1) Predator melakukan peran yang jelas dalam aliran energy melalui komunitas
(2) Predator dan parasitoid telah berulang kali secara terpisah sebagai pengatur populasi hewan yang dalamnya mereka makan, “pengendalian biologis’’
(3) Predator berperan dalam menjaga kebugaran (fitness) populasi mangsa.

Pernyataan ini benar apabila fitness didefinisikan dalam istilah sintasan atau survival dan meninggalkan progeny yang mampu bertahan hidup.

Organisme yang dimakan predator adalah yang kurag bugar, oleh karena itu predasi banyak terjadi pada individu-individu yang tua dan tak berdaya karena sakit salah bentuk; dan individu muda yang induknya kurang bugar yang tidak cukup pengaturan

bagi sintasan progninya, misalnya seekor ngengat betina yang meletakkan telurnya dalam posisi yang mudah diserang parasitoid. Predasi adalah salah satu dari mortalitas utama kemana organisme terekspose dan cenderung untuk mempertahankan populasi mangsa yang berkembangbiak secara sehat dan bugar.

(4) Predator bertindak sebagai agen seleksi dalam evolusi mangsa mereka. Setiap factor mortalitas sepertinya merubah populasi secara permanen, dan ini adalah predasi yang sebenarnya.

Predator dapat didefinisikan sebagai suatu organisme yang membunuh dan mengkonsumsi banyak hewan-makanan selama masa hidupnya, meskipun bila tumbuhan secara lengkap dimakan seperti biji-biji atau benih, predasi dapat juga memasukkan bentuk pemakanan ini.

2. Parasitoid

Didalam serangga ada sekelompok besar spesies yang memarasit yang lainnya, Parasitoid dapat didefinisikan sebagai suatu serangga yang membutuhkan dan makan hanya satu hewan dalam masa hidupnya, tetapi dapat bertanggung jawab membunuh banyak. Disini sebutir telur diletakkan pada atau didalam inang atau mangsa, larva menetas dan mengkonsumsi inang, kemudian menjadi imago yang bebas hidup, yang betina mencari tempat bertelur pada banyak inang lain yang akan member makan progeny atau keturunannya. Itulah sebabnya satu betina tunggal akhirnya bertanggungjawab pada kematian banyak individu. Ada yang dapat mengatakan kedua tipe eksploitase (predasi dan parasitasi) makanan ini dapat disebut predasi. Tentu saja pada kenyataan baik predator maupun parasitoid membunuh banyak jenis makanan membuat mereka dapat dibedakan sejauh efek pada populasi mangsanya terjadi. Yang menjadi perbedaan hanya pada predator membunuh hewan makanan untuk progeninya. Namun predator seperti burung pemakan serangga mengumpul mangsa untuk anak-anaknya, dan sejauh dinamika populasi yang dipertimbangkan hasilnya adalah sama. Dengan demikian parasitoid harus dimasukkan kedalam predasi dan kenyataan banyak teori predasi telah berkembang untuk parasitoid.

3. Hipotesis probabilitas penemuan

Tinbergen memberikan pernyataan tentang "hipotesis probabilitas penemuan" yang dia buat. Menurut Timbergen apabila suatu pandangan yang amat sederhana tentang predasi diangkat dan gerakan acak predator dan diperkirakan pemencaran acak mangsa, maka jumlah mangsa tertentu Na yang ditangkap predator dapat dinyatakan secara sederhana berikut ini:

$$Na = Ra\ DaT$$

Na= jumlah total mangsa spesies A ditangkap oleh predator dalam interval waktu T

Da=densitas populasi mangsa

Ra=indeks resiko mangsa spesies A untuk predator tertentu

Beberapa factor mempengaruhi indeks resiko, sebagai contoh ukuran mangsa penting. Amat sedikit serangga yang dikumpulkan dan dalam kasus larva ngengat *Panolis flammea*(Noctuideae) tidak ada yang diambil dari ukuran lebih kecil dari 18 mm meskipun mereka mewakili 20 % dari spesies yang tersedia. Setiap spesies mangsa juga disubjekkan ke intensitas predasi biasa dalam hubungan dengan *Panolis* pada setiap satu waktu. Timbergen mengambil larva *Panolis* (>2 cm panjang) dan memberikan nilai resiko 100 dan kemudian bandingkan resiko relatif dengan banyak serangga lain. Sebagai contoh apabila spesies A dua kali lebih banyak dari *Panolis* di lingkungan, tetapi membentuk presentase yang sama dari makanan dibawa kesarang burung tit besar, resiko relatifnya adalah 50% dari *Panolis*.

Dalam area ini Timbergen menghitung palatabilitas (keenakan rasa) dan kemudahan mendapatkan bahan makanan yang penting dalam diet tit besar. Ternyata Timbergen mendapatkan bahwa Ra atau probabilitas seekor mangsa ditemukan dan dimakan oleh predator secara radikal bervariasi dan tergantung pada sejumlah factor seperti ukuran dan densitas mangsa, ketersediaan makanan lain, stadium perkembangan mangsa (larva,pupa, atau imago) dan proses pembelajaran predator.

Jelas bahwa sejauh sintasan serangga yang dipertimbangkan, kelimpahan, pertahanan, dan relative karakteristik keenakanrasaya terhadap spesies mangsa lain dalam komunitas akan sangat mempengaruhi mortalitas actual. Bahkan didalam satu spesies, densitasnya memiliki pengaruh dramatic pada kesuksesan predator mendapatkan makanannya. Pada densitas terendah persentase spesies dalam makanan relative rendah. Pada densitas lebih tinggi persentase menunjukkan suatu peningkatan yang tajam dalam kurva harapan dan mencapai nilai tinggi pada densitas medium. Pada densitas tertinggi lereng kurva kurang tajam daripada lereng kurva harapan. Juga palatabilitas dan resiko factor lain mempengaruhi kuantitas spesies yang diambil. Sebagai contoh : rata-rata kejadian pada *Panolis* 29% , *Acantholyda* 25%, dan 12% pada *Diprion sertifer*.

Hal ini menunjukkan jenis tekanan seleksi yang olehnya perubahan populasi mangsa. Ini menekankan bahwa untuk menghindari relative perubahan evolusi predasi terhadap kehadiran spesies lain mungkin hanya sama penting dengan perubahan-perubahan absolut. Perubahan-perubahan ini sulit dievaluasi dan memilih suatu garis dasar mengukur perubahan. Ada yang dapat dipelajari dari ringkasan singkat kritikan dan kesulitan hipotesis :

(1) Semua densitas mangsa tidak dapat diukur, oleh karena itu populasi mangsa satu dalam total ketersediaan tidak dapat ditentukan. Ratio berikut ini diperlukan: Proporsi spesies A berada dalam total ketersediaan makanan/proporsi spesies A diambil oleh predator

(2) Densitas mangsa tidak mereflesikan proporsi individu tidak enak melalui penyakit dan seperti itu

(3) Tidak dipertimbangkan bahwa didalam spesies beberapa individu mungkin lebih siap ditemukan dari yang lain. Apabila kebanyakan bagian relung (niche) yang lebih menguntungkan ditempati mula-mula, dan pada bagian yang tidak menguntungkan kemudian hal ini akan menghasilkan perubahan yang sama dalam resiko mangsa yang didokumentasikan oleh Timbergen. Ini apabila pada resiko rendah berubah menjadi resiko tinggi pada densitas sedang atau moderat.

(4) Didalam teritori perubahan burung densitas mangsa dapat sangat berkurang oleh predasi sehingga secara local profitabilias pencarian mangsa, dan profitabilitas penemuan amat rendah meskipun perkiraan densitas rata-rata menunjukkan hanya 30-40% mangsa yang diambil. Ini dapat dikatakan nampaknya resiko rendah pada densitas tinggi.

(5) Timbergen tidak mempertimbangkan jarak mangsa dari sarang, yang merupakan hal yang penting dalam profitabilitas

(6) Timbergen membuat tiga perkiraan menerangkan perubahan dalam resiko mangsa yang sulit diuji. 1) bahwa burung menggunakan image atau model pencaria, 2) hanya suatu jumlah terbatas model tersebut yang dapat disimpan pada satu waktu, dan 3) ia mengira ada preferensi untuk diet campuran.

4. Besaran Seleksi

Ada beberapa kasus yang mana perkiraan yang baik keuntungan pada alat protektif dapat diperoleh. Dalam kajian Timbergen, *Panolis* mengisi 33 % pada diet tit besar dan *Diprion frutetorum* 3% pada waktu tertentu ditahun berjalan. Bagi setiap satu D. *frutetorum* diambil, ada 11 *Panolis* diambil, jadi *Panolis* adalah 11 kali lebih pekah terhadap predasi tit besar dari pada *Diprion* (sawfly). Bila diperkirakan populasi kedua spesies sama dan tit besar makan ekuevalen populasi lengkap, maka 97% populasi sawfly bertahan hidup, dan 67% *Panolis* populasi bertahan hidup, atau setiap 100 bertahan hidup sawfly, kira-kira 70 *Panolis* dan 30% keuntungan bagi sawfly, dalam kasus larva *D. pini*, dengan pertahanan koloni dan ketidakenakannya hanya 0,1% dari diet diisi dari spesies ini. Bagi setiap *D. frutestorum*, untuk setiap 100 D. *pini* yang bertahan hidup pada 67% *Panoli* bertahan hidup.

Frekuensi keuntungan selektif amat tinggi terhadap pertahanan serangga adalah berharga. Hal ini membantu dalam pemahaman bagaimana secara menajubkan kompleks pertahanan telah berevolusi. Laju seleksi dan adaptasi dapat secara khusus laju didalam serangga yang mana fekanditas sering tinggi yang erat hubungannya dengan tinggi mortalitas, dan populasi adalah besar dengan variabilitas tinggi antara individu. Pada tabel berikut ini didaftarkan beberapa respons terhadap tekanan predator yang terjadi pada serangga. Ini dikelompokan menurut bagaimana pertahanan mereka mempengaruhi pemencaran populasi. Spesies yang tidak enak atau beracun akan mendapatkan keuntungan dari situasi penghindaran.

Predator diperkuat lagi sebelum cukup waktu binasa bagi respons yang dipelajarinya untuk dilupakan. Jadi populasi yang padat adalah suatu keuntungan. Sebaliknya bagi spesies yang mempunyai rasa enak harus berpencar luas untuk

menghindari predator membentuk image pencarian untuk spesies tersebut atau dari bertambahnya efisiensi pencarian mangsa dengan setiap cara. Apabila spesies rasanya enak tetapi punya penampilan intimidasi, mangsa harus juga harus berpencar baik. Disini tidak ada factor yang akan menguatkan lagi respons larinya predator sehingga setiap aksi pertahanan harus datang pada predator sebagai stimulus yang tidak diharapkan.

Tabel 3. Beberapa Respons Terhadap Tekanan Seleksi Predatsi Terutama Predasi Vertebrate

No.	Respon Terhadap Tekanan Predasi
1.	Strategis perlindungan yang hasil seleksi untuk distribusi terdekat mangsa-spesies tidak enak atau beracun
(a)	Aposematik atau kolorasi peringatan
(b)	Pertahanan kimia
(c)	Mimikri Muller
(d)	Penampilan Intimidasi
2.	Strategis perlindungan hasil seleksi untuk jarak saling memangsa bertambah spesies yang tidak enak
(a)	Cripsi dan katalepsi (kondisi membeku biasanya tungkai ada tonjolon lain dilipat
(b)	Penampilan Intimidasi
3.	Strategi perlindungan yang mengizinkan tetapi tidak perlu seleksi untuk distribusi terdekat mangsa-mangsa yang enak
(a)	Polymorfisme
(b)	Batesian mimikri
(c)	Penampilan protean
(d)	Separasi fenologi mangsa dari predator
(e)	Reaksi pertahanan seluler (hanya melawan parasitoid internal)

Apabila predator dapat belajar mengharap respons dan belajar mangsa tidak enak, populasi local hancur. Kelompok pertahanan yang ketiga eksis yang mana dapat bekerja baik dalam arah tetapi disini arah tidak tergantung pada tipe pertahanan yang dimiliki

spesies mangsa. Dengan demikian densitas populasi mangsa dapat amat tergantung pada tekanan predasi dan mekanisme pertahanan yang telah berevolusi dalam proses evolusi ini.

Pertanyaan

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan predasi
2. Jelaskan perbedaan antara predator dan parasitoid
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan hipotesis probabilitas penemuan.

BAB V
ALIRAN ENERGI

1. Energi Matahari

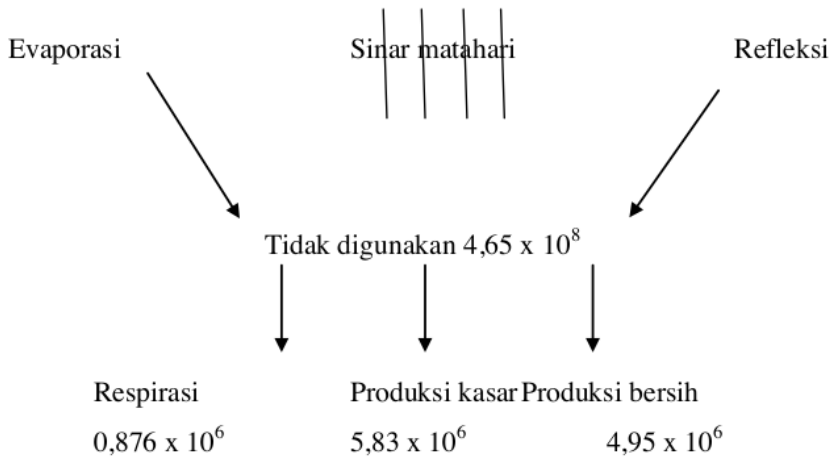
Semua energy diambil dari matahari, keberadaan sumber energy ini harus diketahui terlebih dahulu. Kuantitas energy matahari memasuki atmosfer bumi adalah diperkirakan 15 X 10^8 kalori/m2 per tahun. Sebagian besar energy ini disebarkan oleh partikel debu atau digunakan untuk evaporasi air. Rata-rata energy matahari yang tersedia bagi tumbuhan bervariasi menurut lokasi geografi. Contoh:

Georgia (33^0 lintang utara) – 6,0 x 10^8 kal/m2 per tahun
Michigan (42^0 lintang utara) – 4,7 x 10^8 kal/m2 per tahun
Britain (53^0 lintang utara) – 2,5 x 10^8 kal/m2 per tahun

a. Efisiensi Fotosintetik

Lebih dari 95% dari energy ini hilang dengan segera dari tumbuhan dalam bentuk panas dan panas evaporasi. Yang sisa 1-5% digunakan dalam fotosintetis dan ditrasform menjadi jaringan tumbuhan, dengan energy yang disimpan dalam senyawa kimia jaringan ini. Hubungan energy pada tingkatan produsen primer dapat dilihat dalam gambar 9. Keseimbangan nilai energy sejauh mana metodologi mengizinkan dan hukum termodinamika ditunjang.

Efisiensi fotosintesis pada contoh diatas adalah 4,95/4,71 atau 1,05%. Contoh lain dapat dilihat pada tabel dibawah ini. Kisaran efisiensi 1,9 sampai 3,2% pada tanaman pertanian dan 2,2 – 3,5% pada hutan dewasa apabila diperkirakan selama musim perkembangan.



Gambar 9. Hubungan Energy pada Tingkatan Produsen Primer Rumput Menahun dan Komunitas Gulma. (Sumber, Price 1975)

b. Efisiensi Assimilasi

Kemampuan kloroplas mengikat energi dari sumber energi utama yaitu matahari dapat diikuti pada tabel 4. Namun angka-angka ini sangat rendah perkiraan kemampuan kloroplas mengikat energy. Individu tumbuhan mengsintesis bahan organik dengan menggunakan energy kimia dan energy ini dilepaskan melalui oksidasi (atau respirasi) senyawa organic. Dengan demikian produksi kotor direduksi oleh respirasi dan produksi primer bersih adalah biasanya 50-90% dari produksi primer kotor (Tabel 5).

Tabel 4. Efisiensi Ekologi Transfer Energy Dinyatakan dalam Presentase

Efisiensi fotosintesis:
Produksi bersih x 100/ energy cahaya yang nampak tersedia
Efisiensi Assimilasi
Assimilasi pada tingkatan trofik t x 100/ yang ditelan pada tingkatan trofik t
Efisiensi Produksi (pertumbuhan jaringan):
Produksi pada tingkatan trofik t x 100 / assimilasi pada tingkatan

trofik t

Efisiensi Tingkatan Trofik
Penelanan oleh tingkatan trofik (tx1) x 100/ penelanan oleh tingkatan rofik t

Meskipun perhitungan dapat mengisinkan penutupan awan mengurangi cahaya yang tersedia, tidak ada koreksi dibuat bagi absorpsi cahaya oleh bagian-bagian tumbuhan yang tidak berfotosintesis atau bagi cahaya yang dipantulkan. Sebenarya efisiensi kloroplas mengubah energy cahaya menjadi kerja telah diperkirakan oleh Spanner (1963) yang nilai maksimumnya 80% pada cahaya cerah dan 60% pada intensitas cahaya rendah.

Tabel 5. Efisiensi Fotosintesis Beberapa Tumbuhan

Jenis Tanaman	Lokasi	Efisiensi
Tebu	Jawa	1,9
Padi	Jepang	2,2
Pinus	Inggris	2,2-2,3
Beech	Denmark	2,5

Heterotrof individu tidak mengasimilasi semua makanan yang dikonsumsi. Sampai 90% makanan yang diambil dilewatkan dalam bentuk feses dan memberikan efisiensi assimilasi 10%. Beberapa organisme yang ekstrim memilki efisiensi assimilasi 75%, dengan karnivor tendensi memiliki efisiensi yang lebih besar dari herbivor.

c. Tingkatan Trofik Efisiensi

Jelas bahwa jumlah tigkatan trofik dibatasi oleh jumlah energy sinar matahari yang mencapai biosfer atau bagian biosfer, efisiensi denan yang dikonversi menjadi bahan kimia, dan efisiensi dengan yang setiap tingkatan trofik berikut menggunakan energy ini. Karena efisiensi umumnya amat rendah, kita dapatkan harapkan amat sedikit hubungan dalam rantai sebelum semua energy yang tersedia disebarkan. Maksimum ada 4 atau 5 tingkatan trofik karena sumber energy semakin kecil, semakin banyak energy harus dimanfaatkan

untuk mendapatkan makanan ini sampai akhirnya energy menjadi terlalu jarang yang lebih diperluas dalam eksploitasinya dari pada diambil dari makanan sehingga tingkatan trofik lain tidak ada. Perbedaan dasar dalam sejarah hidup produsen primer terrestrial dan system akuatik mempengaruhi panjang. Rantai makanan dalam system ini. Pohon memiliki waktu regenerasi yang panjang dan potensi biotic yang rendah. Persentasi produksi bersih hutan desidus yang sudah dewasa diambil oleh herbivor adalah rendah 1,5-2,5 sehingga sedikit energy dilewatkan melalui rantai makanan yang melibatkan makhluk hidup (biofag) dan rantai-rantai ini bentuknya pendek dengan 3 tingkatan trofik. Akibatnya banyak bahan hidup mati dan menjadi tersedia bagi saprofag, membuat rantai-rantai makanan berbasis saprofag secara relative penting pada hutan-hutan desidus. Sebaliknya di air lautan, fitoplakton memiliki potensi biotic yang tinggi dan waktu generasi yang pendek. Ada 60-90% produksi bersih dapat dilewatkan ke biofag primer. Suatu proporsi yang besar dari energy yang cocok melewati sepanjang rantai makanan biofag, yang bentuknya terdiri dari 4 tingkatan trofik, dan rantai makanan berbasis saprofag relatif tidak nyata.

Karena energy sinar matahari (radiant) sangat bervariasi menurut lintang (latitude)beberapa perbedaan latitude juga dapat diharapkan terjadi dalam panjang rantai makanan, dan adaptasi mengeksploitasi suplai energy besar dan kecil organisme hidup di hutan hujan tropis dan tundra arktik.

2. Produktifitas Primer

Produksi fotosintesis adalah sumber primer bahan organic dan energy potensial, yang adanya hampir semua bentuk-bentuk kehidupan termasuk manusia tergantung. Kekecualian yang diketahui adalah sejenis bakteri tertentu yang dapat mengsintesis senyawa organic hanya dengan menggunakan energy kimia dan senyawa anorganik, dan manusia yang dapat memperoleh beberapa energy yang dia perlukan dari tenaga angin dan air, energy atomic, dan konversi energy matahari langsung. Bakteri menunjang sedikit jumlah kepada suplai total energy organic. Manusia secara total tergantung pada fotosintesis untuk sebagian besar kebutuhan nutrisi dan energy yang dia dapat dari bahan bakar fosil seperti minyak dan batubara dihasilkan melalui fotosintesis selama tahun-tahun mula-mula. Laju produksi primer akhirnya merupakan salah satu factor yang utama dalam

pengendalian laju perbanyakan dan pertumbuhan organisme dalam komunitas pada berbagai latitude (Tabel 6).

Tabel 6. Produksi Primer Bersih (Biomassa) pada Lokasi Subur di Latitude yang Berbeda (metrik ton per hektar per tahun)

Ekosistem	Iklim	Produktifitas Organik
Gula pasir	Arid	1
Hutan desidus	Sedang	12
Pertanian tanaman setahun	Sedang	22
Hutan conifer	Sedang	28
Pertanian Tanaman Setahun	Tropis	30
Hujan-hujan	Tropis	50
Pertanian Tanaman Setahun	Tropis	75

Catatan : Sumber Price (1975)

Melihat produksi dengan cara ini , dapat diramalkan ukuran relative biomassa, herbivore, dan jumlah relative spesies herbivore yang dapat ditunjang oleh setiap ekosistem. Biomassa herbivore sekitar 10% biomassa tumbuhan, karena yang terakhir berbeda dalam besaran, perbedaan yang ekuivalen dalam herbivore dapat diharapkan. Bahkan dengan berdasarkan hanya pada biomassa, lebih banyak masalah serangga pada tanaman jagung dari pada di padang rumput perlu diantisipasi terutama sejak tanaman jagung adalah monokultur sedangkan biomassa di padang rumput dibagi antara 10-20 spesies tumbuhan. Produksi jagung adalah tinggi, disini sebagian besar tanaman terdiri dari jaringan fotosintesis, dan banyak usaha manusia ditujukan ke produksi ini-kultivasi atau pengelohan dan pupuk.

Bukan hanya produksi merubah karakter komunitas herbivor, tetapi cadangan energy yang disimpan oleh tumbuhan juga. Di ekosistem savanna dan hutan ada sejumlah besar energy disimpan sebagai jaringan kayu. Serangga beradaptasi pada suplai ini tidak menghadapi suatu sumber makanan yang umur pendek dan sejarah hidup dapat diperpanjang. Perpanjangan sejarah hidup menuntun ke perubahan populasi yang lebih lambat merubah dan menambah kesempatan stabilitas populasi. Karakter komunikasi dapat

secara kuat dipengaruhi oleh cadangan energy. Beberapa contoh spesies serangga yang panjang umur dan yang dikenal baik makan pada jaringan kayu adalah kumbang bertanduk panjang (Cerambyidae) kumbang penggerek kayu metalik (Buprestidae) dan banyak kumbang lain, kerawai kayu (Siricidae), ngengat (Cossidae) beberapa jenis lalat (Tipulidae) dan cicadas (Cicadelidae) termasuk yang periode 13-17 tahun cicadas. Karakteristik spesies padang rumput yang melewati musim dingin dalam bentuk telur atau stadia imago, dan memiliki "annual" atau siklus hidup "multivoltin"termasuk belalang (Acrididae), jengkrik (Gryllidae) wereng (Cicadellidae dan Jassidae) Kumbang (Chrysomelidae, dan sejumlah besar lalat pemakan tumbuhan.

3. Penyimpanan Energi

Seperti tumbuhan bervariasi dalam kemampuan penyimpanan energinya, herbivore telah beradaptasi melalui banyak cara yang berbeda mengalokasi energy assimilasi. Alokasi tergantung pada tipe sumber energy yang mereka eksploitasi untuk makanan (baik umur pendek atau yang abadi) stress fisiologi pada mana mereka terekseposa (cuaca, perubahan musim), dan strategi reproduksi yang berevolusi (banyak turunan kecil, beberapa yang besar, beberapa kelompok telur yang besar, banyak kelopok kecil).

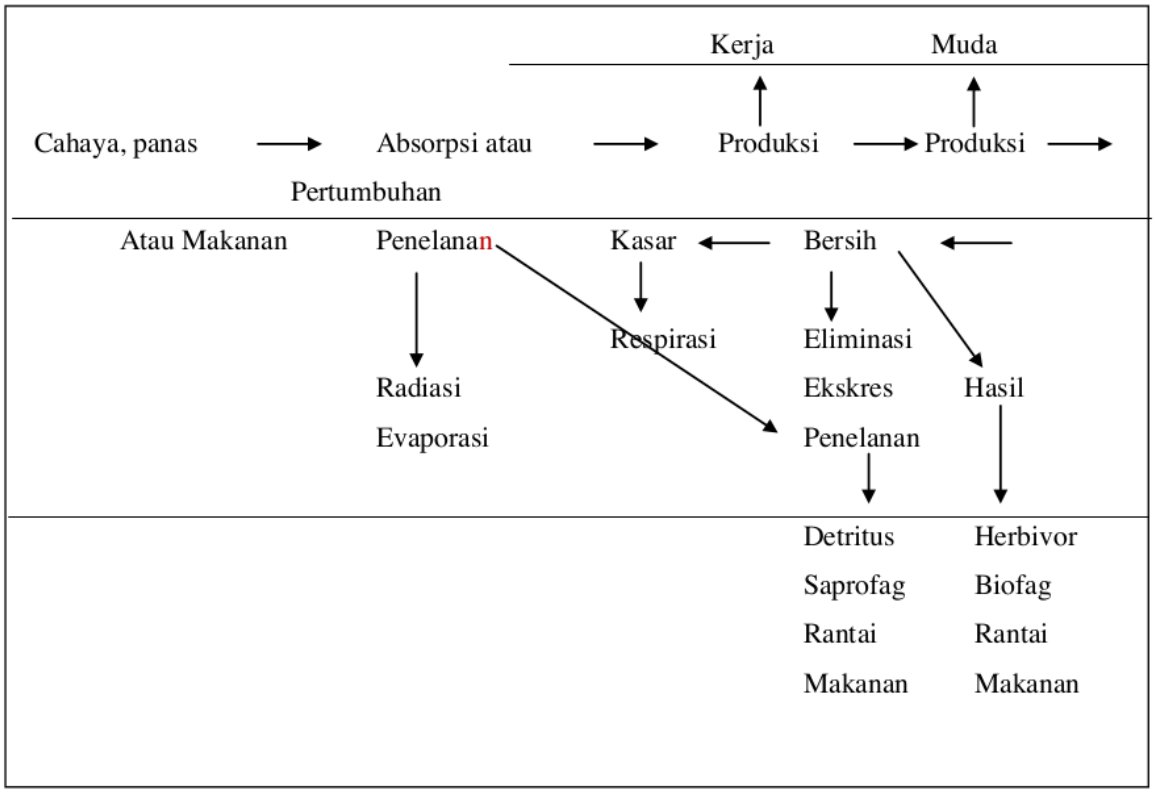
Perubahan musim) dan strategi reproduksi yang berevolusi (banyak turunan kecil, beberapa yang besar, beberapa kelompok telur yang besar, banyak kelopok kecil).

Pengertian yang baik tentang alokasi energy, membantu untuk mendapatkan bagian model aliran dalam suatu organisme memfokuskan perhatian pada factor-faktor yang perlu diukur. Model Batzli secara konseptual dipakai disini. Energi tidak menjadi bagian dari organisme sampai diangkat sebagai karbon yang tereduksi. Pada heterotrof ketika telah diassimilasi melalui dinding usus. Bahan yang ditelan melalui saluran pencernaan tanpa memasuki lungkang (pool) biokimia individu. Produk ekresi hilang dari lungkang biokimia organism dan perlu dipertimbangkan biaya perawatan lungkang yang dibandingkan dengan energy respirasi. Sekali energy (karbon tereduksi) telah diikat diassimilasi oleh organism, itu menjadi produksi kasar dan dapat berjalan melalui beberapa lintasan: Metabolisme respirasi dengan etanol, asam laktat, atau reproduksi CO2. Senyawa nitrogen diekskresikan sebagai produk sampingan Organisme dapat menunjukan kerja dengan menggerakan berat. Karbon tereduksi dapat dimasukkan kedalam molekul baru. Apabila

produksi bersih positif, jaringan baru diproduksi lebih cepat daripada jaringan tua dihancurkan.

4. Aliran Energi dalam Individu dan Populasi

Model aliran energi melalui individu pada organime autotrof dan heterotrof dapat diikuti pada gambar 10.



Gambar 10. Model Aliran Energy Melalui Individu Organisme (Autotrof atau Heterotrof, Garis Putus Menunjukkan Batas Organisme).

Berdasarkan model produksi kasar aliran energi dalam individu dan populasi dapat dihitung dengan formula :

GPP = AR + NPP + AEX + AW

Keterangan: GPP = AR+NPP+ALEX+AW
GPP : Produksi primer kasar

AR : Respirasi autotrofik
NPP : Produksi primer bersih/neto
AW : Kerja autotrofik

Bagi autotrof: GPP=Produksi primer kasar, AR= Respirasi autorofik, NPP=ProduksiPrimer bersih atau neto, dan AW=Kerja aututrofik. Kalau ALEX-hampir sama AW-hampir sama 0, formula menjadi sederhana. Bagi heterotrof:GSP=Produksi primer kasar, NSP=produksi sekunder bersih, dan Symbol lain sama dengan pada aututrof dengan H=menandakan aktifitas heterotrofik, HEX dan HW akan sering signifikan lebih besar dari 0. Jaringan atau produksi bersih dapat hilang dalam 4 cara Propagula reproduktif (muda, turunan) : Porsi individu dapat hilang sebagai bahan mati (eliminasi)

Hal ini sangat penting pada serangga karena ddalam proses ganti kulit menunjukkan suatu kehilangan energy yang besar. Total berat kering eksuvae selama hidup satu aphid adalah 30% dari total berat kering pertumbuhan. Pada aphid ini menunjukkan 14% produksi bersih. Suatu populasi aphid pada satu pohon dapat hilang 300-500kcal/tahun pada eksuvae. Bentuk kehilangan lain sekresi (eliminasi). Ini merupakan pengeringan energy yang secara ekstrim penting pada serangga apabila mempertimbangkan produksi feromeon dan sekresi pertahanan. Porsi suatu individu yang dapat dikonsumsi oleh organism lain (hasil). Dalam hal ini adalah berarti makan didalam kotak organisme, sedangkan saprofag tidak mempengaruhi laju produksi makanan mereka dan mereka makan diluar kotak organisme. Perbedaan besar ini harus diyakini menuntun kepada perbedaan-perbedaan fundamental dalam strategi eksploitasi biofag dan saprofag. Apabila individu mati ia menjadi apakah eliminasi atau hasil, dan semua laju aliran energy menjadi 0 (zero). Dengan demikian produksi bersih dapat dihitung dengan formula :

Autotrof (A) NPP=AG+ARP+AEL+AY
Heterotrof (H) NSP=HG+HRP+HEL+HY

Dimana G = pertumbuhan, RP = Reproduksi, EL = Eliminasi, Y = Hasil.

Produktifitas populasi diperoleh dengan menjumlah GPP dan GSP bagi individu dan NPP dan NSP diperoleh dengan penjumlahan NPP dan NSP individu hilangkan istilah reproduksi dalam persamaan.

5. Pergerakan Energetika

Pergerakan (lokomosi) adalah pengurusan utama produksi kasar pada banyak serangga Tucker dan Schmidt-Nielson (dalam price 1975) telah meringkaskan biaya energy per unit berat badan per unit jarak tempuh. Ia memungkinkan perbedaan biaya berjalan, lari dengan terbang dan berenang. Berjalan dan berlari lebih banyak biaya energy daripada terbang bagi setiap berat tertentu hewan. Seekor burung camar lebih ekonomik dalam pergerakannya dibangdingkan seekor tikus yang sama ukurannya. Juga pada tipe pergerakan tertentu semakin kecil organisme semakin besar biaya transport. Apabila pejalan dan pelari diekstrapolasi keatas termasuk berat badan serangga biaya transport secara energy terlalu mahal. Kemungkinan serangga lompat punya system transport yang relative murah, namun serangga yang terbang dapat lebih murah lagi. Laju hilang efisirnsi dengan berkurangnya ukuran organisme adalah lebih rendah bagi penerbang daripada pejalan. Seekor lebah tidak lebih besar biaya per unit berat daripada tikus yang ukuran lebih dari 1000 kali. Lalat buah biaya 1000 kali lebih energy berjalan pada jarak tertentu daripada ditempuh dengan terbang.

Serangga telah dibatasi dalam ukuran oleh kerangka luar yang menjadi kurang efisien dengan bertambah ukuran, dan system respirasi menggunakan pergerakan udara masuk trachea yang menjadi lambat dan lambat dengan ukuran. Dengan ukuran kecil biaya pergerakan dengan berjalan amat tinggi, dengan demikian dapat dipahami begitu hebatnya tekanan seleksi pada serangga menjadi penerbang efisien.

6. Peranan Serangga dalam Aliran Energi.

Serangga adalah anggota yang amat penting dalam tingkatan trofik herbivore. Telah dihitung dilapangan populasi Orthoptera dan semut permanen bersama-sama untuk 81% dari total aliran energy (assimilasi) melalui tingkatan trofik produsen sekunder. Meskipun Orthoptera menggunakan sebagian kecil makanan tersedia bagi mereka (2-7%) daripada burung dan tikus pemakan biji (10-50-%) mereka tertuju lebih pada produksi daripada pemakan biji. Biaya pemeliharaaan mempertahankan suhu badan (homeotherm) vertebrata adalah lebih tinggi daripada invertebrate, sehingga angka produksi nyata menunjukkan adalah amat berbeda daripada nilai aliran energy. Produksi oleh Orthoptera adalah 100 kali lebih besar daripada burung gereja dan 33 kali lebih besar daripada tikus. Dengan demikian

herbivore serangga bukan hanya mengkonsumsi lebih banyak energy (absolute) dalam tingkatan trofik produsen primer daripada vertebrata, tetapi mereka juga membuat lebih banyak energy tersedia bagi tingkatan trofik karnivor. Oleh karena itu serangga herbivor memegang peranan utama dalam aliran energy komunitas.

Besar keuntungan serangga dalam produksi sekunder tergantung pada populasi yang besar dan efisiensi dengan nama mereka mengkonversi bahan assimilasi menjadi produksi sekunder. Perbedaan yang besar antara serangga dan vertebrata dalam efisiensi produksi. Kepik *Leptoterna dolabrata* efisiensi berkisar 50-58% selama periode 5 tahun. Pentingnya aphid dalam energy komunitas tidak secara umum disadari meskipun embunmadu signifkan sebagai makanan banyak hewan dan fungsi. Sejumlah besar pemakan khusus aphids seperti Syrphidae, Geocoridae, Braconidae, Chalcidae, Cynipidae, dan fungsi yang makan pada embunmadu. Aphid tidak menghancurkan mesin fotosintetis tumbuhan tetapi mereka dapat mengekstrak sejumlah besar energy per meter persegi vegetasi daripada pemakan rumput conventional, tanpa menghancurkan sumber makanan mereka. Sungguh aphid dapat meningkatkan peningkatan karbon dalam tumbuhan inang dengan mengeluarkan nutrien yang terakumulasi, apabila tidak digunakan dengan cara ini akan menekan laju fotosintetis.

7. Dampak Herbivor Terhadap Tumbuhan

Dampak suatu populasi serangga pada produsen utama tergantung pada tipe kerusakan yang mereka buat. Apabila serangga makan di daun maka ada 5-20% konsumsi terkonsentrasi pada daun-daun ini yang biasanya tidak signifikan. Karena banyak tanaman dapat bertahan sampai 30-40% defoliasi tanpa kehilangan hasil yang serius.

Namun apabila 5-20% produksi tumbuhan diambil oleh serangga dalam bentuk bunga dan atau biji ini kelihatannya sebagai bencana terhadap populasi tumbuhan. Terlalu banyak data tentang pengaruh serangga terhadap produksi tanaman, atau sebaliknya bagaimana produksi tanaman dengan pengaplikasian insektisida. Tetapi hal ini jarang dilakukan.

Dalam situasi alami perhitungan dampak herbivore lebih sulit karena produksi primer dan sekunder harus diukur, dengan kajian rinci pada konsumsi, assimilasi dan efisiensi produksi dari herbivore di laboratorium, konsumsi herbivore dilapangan dapat

diperkirakan. Sehingga dampak biasanya perkiraan rendah dalam situasi ini karena tidak ada perkiraan produksi primer produsen tanpa kehadiran herbivore. Beberapa contoh dapat membantu dalam membandingkan situasi pertanian dan alami. Telah dikaji belalang menelan 0,5% dari produksi primer bersih pada vegetasi lapangan tua tetapi 2,5% di padang alfalfa. Dampak pada tumbuhan bertambah karena kerusakan jaringan oleh bagian mulut penusuk dan injeksi racun dari sekresi saliva. Ada juga yang menghitung hilangnya tumbuhan 26-36% lebih besar daripada konsumsi oleh *cicadelid Cicadelida viridis* di Polandia. Tetapi demikian dampak masih terlalu rendah dibandingkan dengan situasi di pertanian.

Perbedaan antara situasi di bidang pertanian dan alami dengan mengangkat pertanyaan sebagai berikut :

a. Mengapa dilingkungan alami herbivore tidak makan lebih dari sumber yang tersedia?
b. Apa yang membuat tanaman pertanian pekah terhadap tekanan herbivore?
c. Bagaimana tanaman berbeda dari komunitas alami?

   Hal ini dapat diselesaikan dengan cara memahami organisasi, keragaman dan stabilitas komunitas.

8. Peranan Arthropoda dalam Aliran Energi (Saprofag)

Salah satu pentingnya serangga dan dalam hal ini arthropoda dan invertebrate lain adalah terlibat dalam penghancuran serasah dan selanjutnya melepaskan hara mineral di hutan. Telah dikemukakan bahwa rantai makanan berbasis saprofag adalah relative penting didalam ekosistem hutan. Peranan arthropoda dalam penghancuran serasah dapat dikaji dengan menempatkan daun-daun yang gugur didalam kantung kasa dan setelah periode waktu tertentu arthropoda diekstrak dan ukur hilangnya berat serasah. Hewan tanah meningkatkan kecepatan penghancuran serasah dengan memisahkan jaringan, daerah permukaan bertambah, merubah sifat fisik dan kimia serasah dalam hal ini dan campurkan dengan bahan anorganik. Semua aktivitas meningkatkan ketersediaan bakteri dan fungsi. Sebagian besar serasah ditelan oleh hewan dan dikeluarkan sebagai feses. Dalam beberapa tanah sebagian besar tumbuhan tertinggal dalam bentuk feses. Larva caddishfly Enoicyla pussila mengkonsumsi 4,5-19% serasah dari pohon oak. Dari bahan yang ditelan 7%

diassimilasi dan 93% dikeluarkan. Pelet feses menutupi permukaan yang luas, aerasi dan kemampuan menahan air lebih baik, Ph lebih tinggi daripada serasah mula-mula. Aktifitas mikroba pada feses lebih tinggi daripada daun yang utuh dan rata-rata lebih tinggi dari daun-daun yang dihancurkan secara mekanis. Dengan menggunakan kantung sampah 60% sampah daun telah dipindahkan oleh cacing tanah, tanpa mereka tungau, colembola, cacing enchytraeid dan invertebrate kecil lain memindahkan 30% bagian daun dan kalau mereka dihilangkan tidak nampak terjadinya penghancuran daun-daun. Oleh karena itu penghancuran atau fragmentasi disebabkan oleh fauna serasah sedangkan dekomposisi atau deteriorasi kimia terjadi oleh aksi mikroba. Sehingga dapat disimpulkan invertebrata tanah mengkontribusi nyata pada penghancuran daun meskipun aliran energy total mungkin kecil dibandingkan dengan apa yang dilakukan oleh bakteri dan fungsi.

9. Efisiensi Maksimum

Dalam situasi yang mana tiga spesies berada pada tingkatan trofik yang sama dan berkompetisi untuk sumber makanan yang sama, kemudian efisien suatu spesies adalah apabila spesies lain makan lebih cepat dan mengkonsumsi semua makanan, spesies yang efisien akan tidak dapat berkompetisi dan mati kelaparan. Mudah memikirkan hal ini dalam populasi tumbuhan yang mana hara mineral atau air berada dalam keadaan terbatas dan semua tumbuhan harus berkompetisi untuk sumber ini. Tumbuhan yang tumbuh lebih dahulu dan cepat akan mendapat keuntungan selektif daripada efisiensi maksimum.

Odum dan Pinkerton (dalam Price, 1975) menyarankan bahwa system alami cenderung mengoperasi pada efisiensi yang menghasilkan suatu keluaran tenaga maksimum, dan ada seleksi untuk menghasilkan energy yang hilang karena dipakai. Pertanyaan efisiensi maksimum versus tenaga maksimum secara jelas tergantung pada banyak factor, untuk itu muncul beberapa pertanyaan:

(1) Adakah suplai energy kurang bagi semua organism?

(2) Dapatkah spesies berupaya menjadi tidak efisien?

(3) Dapatkah kompetisi menghasilkan suatu manfaat terhadap tenaga yang hilang?

Kelihatannya efisiensi yang tinggi tidak selamanya diseleksi dan kebugaran dapat diperbaiki oleh buangan energy. Satu contoh adalah strategi beberapa tumbuhan yang membuat sejumlah besar biji-biji secara tidak teratur sehingga populasi predator biji

dibanjiri makanan kapan saja biji-biji dihasilkan. Strategi yang sama dilibatkan dengan penerbangan sinkron kuat dan besar cicada periodic, karena mereka mengambil 13-17 tahun untuk berkembang, hal ini kelihatan menjadi cara yang amat membuang waktu dan energy apabila cicada “dog-day” dapat bertumbuh lebih besar dalam waktu lebih pendek.

Banyak masalah dalam ekologi membutuhkan data dari kajian energy dan akan sulit dipecahkan tanpa mereka. Strategis reproduksi organism termasuk alokasi adaptif energy ke keturunan. Berupa banyak energy dialokasikan adalah masih dipertanyakan bagi kebanyakan energy, dan karenanya banyak kerja pada sisa energy yang perlu dilaksanakan dilapangan. Dalam kajian ekologi penyerbukan, kita perlu memahami tekanan seleksi yang mempengaruhi pengaturan bunga-bunga yang mensuplai nectar kaya energy, dan biaya energetic bagi penyerbuk yang mencari makan. Seperti pada kebanyakan bidang lain ekologi kesempatan untuk mengkontribusi pada bidang energetika ini adalah banyak.

Pertanyaan

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan aliran energy dalam populasi
2. Apa peranan serangga dalam aliran energy.
3. Ada 4 cara hilangnya populasi bersih, sebutkan dan jelaskan

BAB VI
SERANGGA DAN IKLIM

Kehidupan serangga sangat erat hubungannya dengan keadaan lingkungan dimana ia hidup. Hubungan ini terjalin apabila serangga tersebut mengadakan tanggapan dalam berbagai cara, setelah terjadi kontak dengan lingkungan yang selalu berubah-ubah. Oleh karena itu dalam mempelajari suatu hama serangga yang penting adalah pertama-tama menyelidiki dan memahami kehidupan serangga itu, kemudian mencari dan mempelajari hubungan serangga tersebut dengan lingkungan dimana ia hidup. Untuk mempelajari masalah tersebut secara keseluruhan, dibutuhkan pengetahuan-pengetahuan dasar, dalam hal ini ilmu cuaca, botani ilmu hewan, mikrologi, mikrobiologi, agronomi, anatomi, fisiologi serangga dan lain-lain. Faktor-faktor yang bekerja dan berpengaruh pada kehidupan serangga sangat bervariasi dan amat kompleks adanya. Semua factor didalam suatu lingkungan yang bersama-sama mempengaruhi kehidupan serangga, dapat dikelompokkan menjadi: Kelompok factor dalam (Internal or intrinsic factors) dan kelompok factor luar (External environmental factors). Kelompok factor dalam, adanya didilam tubuh serangga seperti struktur organ tubuh, sex rasio, fisiologi dalam dan lain-lain. Kelompok factor yang kedua, adanya diluar tubuh serangga yang meliputi semua factor lingkungan antara lain factor iklim. Ada juga pengelompokkan lain yang membagi kelompok factor yang berpengaruh pada kehidupan serangga ini menjadi tiga kelompok yakni factor fisis (physical factors), factor biotis (biotic factor) dan factor makanan (nutritional factors).

Iklim adalah kondisi cuaca rata-rata dari pada suatu daerah atau tempat yang luas. Klimatologi adalah salah satu cabang ilmu yang khusus mempelajari tentang iklim. Studi klimatologi dalam hubungannya dengan entomologi mencakup dua hal : (i) menganalisa dan memahami secara mendalam tentang hubungan antara keadaan dan masalah perubahan iklim makro suatu daerah dengan timbul lenyapnya serangga-serangga didalam daerah tersebut . (ii) memperhatikan dan meneliti perubahan-perubahan iklim makro yang bersifat mendadak dan respons/tanggapan yang diwujudkan oleh serangga-serangga tersebut akibat pengaruh iklim. Dalam hal tersebut termasuk pula kemungkinan –kemungkinan

meramalkan perubahan iklim pada masa-masa yang akan datang dan pengaruhnya terhadap serangga.

Perbedaan iklim antara suatu daerah dengan daerah lain tergantung pada garis lintang, posisi terhadap laut maupun benua, dan kondisi geografis setempat. Unsur-unsur factor iklim seperti temperatur, kelembaban, curah hujan, cahaya dan radiasi, serta angin dan gerak udara. Dua atau lebih unsure iklim tersebut secara bersama-sama dapat menghasilkan efek resultante yang sangat nyata pada kehidupan serangga.

1. Temperatur

Temperatur udara merupakan salah satu unsur dari iklim yang penting dan berpengaruh pada kehidupan serangga dalam berbagai segi, antara lain aktivitas serangga, penyebaran geografis maupun local, perkembangan, pembiakan, dan sebagainya. Temperatur menyatakan derajat panas. Arti panas dalam ekologi dapat dibedakan dalam dua hal yakni energy panas (Heat energy) dan intensitas panas (Heat intensity). Temperatur hanya dapat menerangkan intensitas, sedangkan produk temperatur efektif baru dapat menerangkan energy panas. Sumber panas pada lapisan didekat permukaan tanah adalah terutama radiasi matahari pada siang hari. Cahaya matahari makin kuat, penyerapan panasnya semakin banyak. Oleh karena itu tinggi-rendahnya temperatur udara berbanding lurus dengan intensitas cahaya matahari. Pada malam hari atau udara mendung, tinggi rendahnya temperatur tidak tergantung pada intensitas cahaya. Sumber panas pada lapisan udara dipermukaan tanah dalam keadaan gelap atau mendung adalah terutama dari hasil pemancaran panas dari permukaan.

Derajat temperatur udara mempunyai hubungan erat dengan posisi matahari atau sudut penyinaran. Makin tinggi posisi matahari, temperatur udara makin meningkat sehingga mencapai puncaknya pada saat mahatari tegak lurus dengan permukaan tanah (sekitar pukul 12.00-13.00) kemudian menurun kembali. Temperatur terendah terdapat pada waktu subuh (sekitar 04.00-05.00). Temperatur maksimum dan minimum ini dalam hubungannya dengan waktu berbeda pula dengan lintang geografis. Goncangan temperatur udara harian maupun tahunan didaerah tropis tidak terlampau besar, berbeda dengan daerah subtropics maupun daerah dingin.

Serangga tergolong sebagai binatang berdarah dingin atau poikilothermal, oleh Karena itu temperatur tubuhnya tidak tetap dan naik turun mengikuti temperatur lingkungannya. Didalam keadaan tak bergerak (istirahat), serangga akan kehilangan temperatur tubuhnya kira-kira beberapa derajat celcius. Susut temperatur tubuh ini akan diimbangi oleh panas yang dihasilkan karena proses-proses metabolism didalam tubuh serangga, seperti pergerakan otot, dan sebagainya. Cuaca, radiasi matahari, angin, penguapan dan konduktivitas, kesemuanya juga mempengaruhi keseimbangan temperatur tubuh serangga.

Radiasi matahari yang mencakup penyinaran langsung atau difus daripada cahaya biasa maupun ultra merah merupakan sumber-sumber kalori badan serangga. Lebah *Bombus* spec. Apabila bertengger ditempat yang teduh memiliki temperatur badan 28,7^{0}C. Lima menit dibawah cahaya matahari, maka temperatur badan mencapai 41,6^{0}C dan apabila lewat gumpalan-gumpalan awan, temperatur itu akan menurun dengan cepat. Sejenis belalang *Locusta* jika berada ditempat teduh memiliki temperatur badan 28^{0}C. Dalam satu menit saja dibawah cahaya matahari, temperatur itu akan meningkat hingga 36^{0}C dan dalam 10 menit temperatur dapat mencapai 42,7^{0}C. Jika setelah itu belalang tersebut dikembalikan ketempat teduh, maka temperatur badannya akan menurun sampai taraf semula hanya dalam 6 menit saja.

Struktur tubuh serangga juga mempunyai hubungan yang erat dengan daya serap terhadap panas enersi radiasi. Misalnya muka punggung badan serangga yang melengkung serta serba licin dan berkilau memiliki daya memantulkan kembali cahaya yang amat kuat. *Calliptamus* Spec, memiliki warna badan coklat tua. Temperatur badan belalang tersebut umumnya lebih tinggi 4-5^{0}C daripada jenis yang bewarna kuning tua. Posisi bertengger dalam hubungannya dengn sudut penyinaranpun menimbulkan efek-efek yang berbeda pada temperatur badan serangga. Kepala belalang yang mengarah pada cahaya matahari akan meningkatkan temperatur badannya hingga 6-7^{0}C lebih tinggi daripada temperatur lingkungan. Dalam keadaan badan berposisi tegak lurus terhadap cahaya matahari, temperatur badannya lebih tinggi 16-17^{0}C daripada temperatur lingkungan.

Dapat dipahami bahwa fungsi radiasi matahari disatu pihak memberikan panas energy pada tubuh serangga, juga dilain pihak meningkatkan temperatur badan serangga dengan cepat, hingga mungkin akan merusak jaringan-jaringan tubuh dan akibatnya mati.

Temperatur panas kalori yang dihasilkan oleh proses-proses metabolism badan serangga (seperti pergerakan –pergerakan jaringan otot-otot) juga membawa efek-efek pada kehidupan serangga dan temperatur lingkungannya. Larva kupu-kupu jenis *Vanessa*, apabila larva tersebut berada dalam formasi berkelompok, maka panas kalori yang dihasilkan oleh tubuhnya dapat meningkatkan temperatur badannya dengan $1,5^0$C. Akibatnya waktu perkembangan larva-larvanya akan dipersingkat dengan 1-3 hari. Berbagai jenis serangga ordo Hymenoptera dalam aktivitasnya dapat meningkatkan temperatur badannya dengan $1,5^0$C. Akibatnya waktu perkembangan larva-larvanya akan dipersingkat dengan 1-3 hari. Berbagai jenis serangga ordo Hymenoptera dalam aktivitasnya dapat meningkatkan temperatur badannya dengan 4^0C. Diketahui bahwa aktivitas pergerakan jaringan otot dan sayap-sayap lebih muda didalam sarangnya, meningkatkan temperatur didalam sarang itu. Ngengat Sphingidae dalam keadaan terbang dapat meningkatkan temperatur bagian toraks hingga perbedaan temperatur toraks dan abdomen adalah 10^0C. Dalam temperatur lingkungan 18^0C, jantan ngengat *Saturnia pyriyang* menggerakkan sayapnya meningkatkan temperatur badan hingga 26^0C, Ngengat Sphingidae ini perlu menggerak-gerakan sayapnya lebih lanjut hingga temperatur badannya meningkat sampai 32-36^0C, baru ia dapat mulai terbang. Dalam keadaan terbang diudara temperatur badannya akan mencapai $41,5^0$C. Akan tetapi demi kelangsungan dan kelancaran daripada proses-proses metabolisme semacam ini, dibutuhkan juga persyaratan temperatur lingkungan tertentu. Temperatur-temperatur ini sumbernya adalah dari radiasi matahari dalam batas-batas tertentu. Oleh karenanya sembarang factor luar yang mempengaruhi radiasi matahari, langsung atau tidak, juga mempengaruhi temperatur badan serangga.

Fungsi konduktif temperatur permukaan tanah terhadap temperatur badan serangga terutama serangga-serangga tanah mempunyai arti yang penting. Apabila temperatur lingkungan rendah, dan temperatur tanah lambat laun meningkat, maka kerap kali serangga akan menempelkan badannya pada muka tanah demi untuk meningkatkan temperatur badannya. Pada waktu lohor dalam musim-musim panas, temperatur tanah amat tinggi, oleh karena itu tidak jarang serangga-serangga berada jauh dari muka tanah dengan maksud untuk menghindarkan kontak yang seminimal mungkin. Gejala semacam ini terutama dapat dilihat didaerah-daerah padang pasir.

Hilangnya temperatur badan serangga ada tiga cara: evaporative (menguap), konduktif dan radiaktif. Yang terpenting adalah evaporative. Dalam temperatur lingkungan 10-30^{0}C, hilangnya temperatur badan serangga *Anomala* dan *Clonia* 80-100% adalah melalui penguapan, sedang 0-20% adalah melalui konduksi dan radiasi. Oleh karena itu, sembarang factor yang mempengaruhi proses penguapan kadar air tubuh serangga, akan berpengaruh pula pada keadaan temperatur badan serangga itu. Dalam keadaan temperatur lingkungan, penguapan akan menurun pula, kerapkali temperatur badan serangga menjadi agak tinggi daripada temperatur lingkungan itu. Seperti pada temperatur lingkungan 5,5^{0}C, temperatur badan lebah madu rata-rata lebih tinggi 4,7^{0}C daripada temperatur lingkungannya. (Wigglesworth 1950). Dalam keadaan temperatur lingkungan yang tinggi , susut temperatur badan serangga akan lebih rendah daripada temperatur lingkungan. Temperatur badan larva *Prodenia* dalam temperatur lingkungan 23^{0}C adalah 21,5^{O}C.

Derajat penyusutan temperatur badan serangga akibat proses penguapan air tubuh berbeda-beda menurut jenisnya. Beda tersebut terutama terletak pada struktur lapisan kulit serangganya. Pada jenis-jenis serangga yang memiliki lapisan kutikula tebal dengan struktur susunan yang lebih rapat, sifat penetrasinya kecil. Hal ini berarti kehilangan kadar air tubuh serangga karena proses penguapan kecil atau lambat, akibatnya temperatur badan agak tinggi. Pada jenis-jenis serangga kecil, perbandingan antara luas permukaan tubuh dan volume adalah relative lebih besar, maka berarti bahwa daya serap temperatur lingkungan lebih besar/cepat, tapi sebaiknya kecepatan hilangnya air tubuh juga tinggi, akibatnya temperatur badan agak rendah. Antara kandungan kadar air tubuh serangga dengan temperatur badanpun terdapat suatu korelasi yang nyata. Apabila kandungan kadar air tubuh serangga tinggi, perbedaan temperatur badan serangga dengan lingkungan agak besar. Perbedaan mana tergantung pada suplai air yang dapat menguap: suplai air makin berkurang, perbedaan temperatur itupun makin kecil.

Dalam garis besarnya, pengarah temperatur lingkungan terhadap penurunan temperatur badan serangga yang berhubungan dengan proses penguapan dapat diterangkan sebagai berikut : apabila temperatur lingkungan lebih rendah daripada titik ekstrim temperatur optimum serangga, walaupun terjadi juga penguapan tetapi tidak cukup untuk mempengaruhi keseimbangan temperatur. Sebagian jenis serangga yang hidup diatas tanah, memiliki lapisan kitina yang tebal. Apabila serangga-serangga tersebut langsung

disinari oleh cahaya matahari, dan karena pengaruh radiasi langsung sangat besar, maka proses metabolism dan penguapan badan serangga tidak mempengaruhi secara nyata pada keseimbangan jumlah panas total.

a. Kisaran Temperatur (Temperatur Range)

Sebagian besar jenis-jenis serangga temperatur tubuhnya sangat tergantung atau dipengaruhi oleh goncangan-goncangan temperatur lingkungan, kecuali sebagian kecil jenis-jenis serangga yang memiliki kebiasaan hidup bermasyarakat (social insects) yang dapat mengatur tubuhnya sendiri dalam batas-batas tertentu. Kecepatan dan perbedaan perubahan karena pengaruh lingkungan ini dapat ditinjau dari 2 segi : (1) berbagai jenis serangga berbeda dalam struktur tubuhnya dan keadaan hidup saat itu, terutama dalam hal kandungan air tubuhnya, (2) berbeda menurut intensitas radiasi, temperatur, derajat kelembaban udara dan kecepatan aliran udara. Reaksi serangga terhadap rangsangan panaspun berbeda menurut jenisnya. Oleh karena itu setiap jenis serangga memiliki kebutuhan temperatur lingkungan dan penyesuaiannya yang berbeda. Kebutuhan dan penyesuaian ini berada pada suatu kisaran atau range yang dinamakan "kisaran temperatur". Luas dan sempitnya kisaran tersebut tergantung pada jenisnya. Sebagian jenis serangga dapat bertahan dan menyesuaikan diri pada goncangan temperatur yang berbeda dalam kisaran yang luas. Sebaliknya, jenis-jenis yang lain dapat bertahan dan menyesuaikan diri dalam kisaran temperatur yang cukup sempit. Berdasarkan pengaruh yang diakibatkan oleh temperatur lingkungan terhadap jenis serangganya, kisaran temperatur dapat dibedakan menjadi 5 daerah atau zone :

(1) Daerah temperatur maximum: daerah temperatur dimana serangga tidak dapat lagi bertahan maupun menyesuaikan diri sehingga akibatnya serangga mati karena terlampau panas.

(2) Daerah temperatur tinggi inaktif atau zone estivasi : daerah temperatur dimana serangga masih dapat bertahan, tetapi tidak lagi aktif maupun bergerak namun serangga tidak mati karena fisiologis organ-organ didalam tubuh masih bekerja. Gejala yang demikian dinamakan 'estivasi' atau diapause' yang berarti juga 'tidur' atau 'istirahat'. Jika temperatur menurun sampai titik temperatur tertentu, maka serangga tersebut akan aktif kembali dan selanjutnya hidup secara normal.

(3) Daerah temperatur optimum atau zone efektif : daerah temperatur dimana serangga hidup secara normal serta segala aktivitas berlangsung secara lancar dan optimal. Pada titik-titik temperatur tersebut perkembangan maupun pembiakan adalah maksimal.

(4) Daerah temperatur rendah inaktif atau zone hibernasi : daerah temperatur dimana serangga masih dapat bertahan tetapi tidak lagi aktif ataupun bergerak karena keadaan terlampau dingin, namun serangga tidak mati karena fisiologis organ-organ didalam tubuh masih bekerja. Gejala yang demikian disebut 'Hibernasi' atau 'Overwintering'. Jika temperatur meningkat sampai titik tertentu, maka serangga tersebut akan aktif kembali dan hidup secara normal.

(5) Daerah temperatur minimum : daerah temperatur dimana serangga tidak dapat bertahan maupun menyesuaikan diri lagi sehingga akibatnya serangga tersebut mati kedinginan.

Jenis serangga yang memiliki kisaran temperatur luas digolongkan sebagai serangga EURY-THERMAL, sedangkan serangga yang memiliki batasan temperatur sempit digolongkan sebagai serangga STENO-THERMAL. Pada umumnya serangga air (aquatic insect) adalah serangga steno-thermal. Serangga air biasanya tidak mengalami temperatur dibawah titik beku dan berada dalam temperatur lingkungan yang relative tetap. Sebaiknya serangga darat mengalami goncangan temperatur yang besar yang dapat mencapai -68^0C dan $+55^0$C. Temperatur optimum serangga darat berada disekitar 26^0C dan kisaran temperatur maksimum antara 48-50^OC. Juga batas-batas inipun sangat tergantung pada kondisi daerah hidupnya. Demikian pula kemampuan bertahan terhadap temperatur-temperatur tinggi dan daya penyesuaiannya.

Temperatur hidup minimum suatu jenis serangga dibedakan menjadi tiga tahap:Temperatur pembekuan (freezing point), temperatur dimana serangga masih mampu bertahan hidup terhadap udara dingin, walaupun proses pembekuan cairan tubuhnya sudah mulai berlangsung. Jika seluruh cairan tubuhnya sudah beku dan serangga tersebut telah mati karenanya, maka temperatur saat itu dinamakan '*titik beku'* . Temperatur kelewat dingin (*super-cooling point*) adalah temperatur dimana serangga hanya dapat bertahan dalam beberapa menit saja, kemudian mati karena cairan tubuh telah beku seluruhnya.

b. Penyesuaiannya Serangga terhadap Temperatur-temperatur ekstrim tinggi dan rendah

Batas kemampuan serangga bertahan terhadap temperatur tinggi berbeda-beda menurut jenisnya dan bervariasi luas. Serangga gudang *Rhizopertha dpminica* dapat bertahan selama 5 menit pada temperatur 62,8^{O}C dan dapat hidup secara normal. Telur *Triporyza incertulas* pada temperatur tinggi 44-46°C belum mati sebelum waktu satu jam; pada temperatur 40^{0}C telur serangga tersebut belum mati selama Sembilan jam; larvanya pada temperatur 46°C mati hanya dalam beberapa menit saja. Lalat daging *Piophila casei*dapat bertahan selama satu jam pada temperatur 52°C; *Pediculus humanus* mati pada temperatur 46,5^{O}C; *Lucilia spec*. Pada temperatur 43°C; imago Xenopsylla pada temperatur 40,5OC, sedang larvanya mati pada temperatur 43,5^{O}C dan *Fannia spec*. Mati pada temperatur 39-41°C. Ulat jagung *Phrausta nubilalis* pada temperatur 54°C mati dalam waktu 15 menit jika berada diluar batang jagung, namun ulat yang berada didalam batang jagung dapat bertahan selama 8 jam dengan temperatur 60^{0}C.

Temperatur rendah yang mematikan serangga beku, berada menurut jenis maupun fisiologi serangganya. Perbedaan-perbedaan tersebut sangat besar. Jenis-jenis serangga yang biasa melewatkan hibernasi umumnya lebih tahan terhadap temperatur yang sangat rendah. Ketahanan ini umumnya lebih besar pada instar pupa. Pupa-pupa *Acronycta rumisis, Daseochaeta alpium*, *Colocasia coryti* dan *Loxostege sticticalis* mampu bertahan pada temperatur lebih rendah dari -20^{0}C. Instar larva terakhir dan prapupa kurang mampu bertahan terhadap dingin daripada pupanya. Prepupa *Agrotis segetum* dan Lasiocampa quercus mampu bertahan hingga temperatur -11 ^{0}C. Stadium yang paling tidak tahan terhadap dingin adalah stadium pertumbuhan atau larva. Larva-larva *Calliphora evryhrocephala* dan *Loxostege sticicalis* juga larva *Agrotis segetum* hanya mampu bertahan sampai temperatur -3^{0}C (Ma, 1975).

Clarke (1959) membedakan temperatur-temperatur terendah pada mana serangga dapat hidup selama waktu tak terhingga dalam keadaan aktif sebagai TEMPERATUR EFEKTIF MINIMUM. Penurunan temperatur selanjutnya akan mengakibatkan serangga ‘tidur’ kedinginan (chill coma). Temperatur yang terendah pada mana gejala hidup masih mungkin dinamakannya TEMPERATUR HIDUP MINIMUM atau minimal survival temperatur. Nilai nyata dari temperatur-temperatur tersebut diatas tergantung pada jangka waktu selama mana serangga itu terkena. Selanjutnya dikenal juga istilah TEMPERATUR

EFEKTIF MAKSIMUM dan TEMPERATUR HIDUP MAKSIMUM 9 heat coma. Untuk lebih jelasnya dibawah ini diperlihatkan hubungan temperatur dengan gejala-gejala hidup ialah *Musca domestica*.

c. Preferensi Serangga terhadap Temperatur Optimum atau Efektif

Pilihan serangga terhadap temperatur optimum berbeda-beda menurut jenisnya dan berhubungan erat dengan temperatur lingkungannya. Preferensi beberapa jenis serangga terhadap temperatur optimum adalah antara lain sebagai berikut: *Lyperosia Spec*. menghendaki temperatur optimum 27-33^{0}C, *Stomoxys Spec*. 23-30^{0}C, tapi temperatur yang paling cocok adalah 27,9^{0}C, *Haematobia Spec*. 15-26^{0}C; *Pediculus humanus* menghendaki temperatur optimum 29^{0}C.

Pilihan sejenis serangga terhadap temperatur optimum juga berbeda menurut umur atau stadium perkembangannya. Lalat rumah *Musca domestica* pada stadium muda membutuhkan temperatur optimum 30-37°C, stadium tua/lanjut membutuhkan temperatur 15°C, pada temperatur minimal 7°C imagonya mulai aktif dan pada temperatur 14°C baru dapat terbang. Namun untuk melakukan aktivitas yang maksimal, dibutuhkan temperatur 33,4^{O}C (Tabel 7). Ulat *Malacosoma disstria* Bbn. Pada stadium larva 1-3 tidak dapat berkembang dengan temperatur lingkungan 15°C dan akibatnya serangga tersebut mengalami kematian. Larva stadium ke-4 masih dapat hidup selama 30 hari dengan temperatur 15°C, dan baru berkembang secara normal pada temperatur 20°C sedang stadium ke-5 membutuhkan temperatur yang lebih tinggi untuk berkembang secara normal. Imago belalang padang pasir membutuhkan temperatur 29,4^{O}C untuk meletakkan telurnya. Nimfa stadium pertama membutuhkan temperatur 30,1^{0}C, stadim ke-2 adalah 28,8^{O}C, stadium ke-3 31,6^{O}C, stadium ke-4 37,1^{O}C, stadium ke-5 39,3OC, dan imagi membutuhkan temperatur 39,3^{O}C untuk tumbuh dan berkembang.

Tabel 7. Kehidupan Lalat Rumah *Musca domestika* dalam Hubungannya dengan Berbagai Tingkatan Temperatur.

Zone	Temperatur	Kondisi Serangga	Keterangan
Estivasi	45,5^{O}C dalam beberapa menit 46,6^{O}C	Kematian ‘Tidur’ kepanasan (heat coma)	 Temperatur hidup

	40,1^{O}C 27,9^{0}C	Aktivitas berlebihan Pergerakan cepat	maksimum Temperatur efektif maksimum
Temperatur optimum	23,0^{0}C-15,0^{O}C 10,8^{0}C	Aktivitas normal Pergerakan lamban	Kisaran temperatur efektif Temperatur efektif minimum
Hibernasi	6,7^{O}C 6,0^{0}C-5,0^{0}C dalam 40 menit -8,0^{O}C dalam 20 menit -12,0^{O}C dalam 5 menit	Mulai bergerak 'Tidur'kedinginan (chill coma) Kematian Kematian Kematian	 Temperatur hidup minimum

Preferensi serangga terhadap temperatur ini dipengaruhi pula oleh tingkat kelaparannya maupun kelembaban udara sekelilingnya. Nyamuk gudang *Culex fatigans* menghindari temperatur kelembaban udara tinggi, terutama nyamuk yang lapar. Nyamuk betina yang baru jadi imago menghindari temperatur 25-30°C, betina yang lapar menghindari temperatur 25°C kebawah hingga 15°C . Jenis-jenis nyamuk pada umumnya pekah terhadap perubahan temperatur 1^{0}C.

d. Pengaruh Temperatur pada Perkembangan dan Pertumbuhan Serangga

Didalam suatu lingkaran temperatur optimum, kecepatan proses metabolisme serangga berbanding lurus dengan kenaikan temperatur lingkungannya. Hal ini berarti bahwa apabila temperatur naik, maka proses metabolism serangga bertambah cepat. Proses metabolism didalam tubuh serangga merupakan fenomena-fenomena fisio-kimia yang serba kompleks. Proses ini menentukan kecepatan tumbuh maupun berkembang suatu organism. Jika metabolisme berlangsung cepat, maka perkembangan seranggnyapun cepat. Temperatur dalam hal ini memegang peranan penting karena kecepatan metabolism sangat dipengaruhi olehnya. Waktu yang dibutuhkan untuk berkembang berbanding terbalik dengan temperatur. Jika temperatur meningkat, proses metabolism makin cepat(pertumbuhan cepat) dan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan perkembangan serangga makin pendek.

Generasi sejenis serangga dalam setahun yang dapat dihasilkan pada lokasi tertentu dapat dihitung menggunakan rumus yang berhubungan dengan produk temperatur efektif bagi perkembangan. Cara menghitungnya seperti berikut :

$$\text{Jumlah Generasi Lokasi Tertentu} = \frac{C_1}{C_2}$$

Keterangan : C_1 = Jumlah total produk temperatur perkembangan efektif pada lokai tertentu.

C_2 = Produk temperatur perkembangan efektif yang diperlukan untuk menyelesaikan perkembangan satu generasi sejenis serangga.

Jumlah generasi yang dapat dihitung dengan cara tersebut menyatakan jumlah yang mungkin dapat dicapai secara teoritis. Jumlah generasi yang nyata atay sebenarnya lebih kurang berada didekat niali teoritisnya. Hasil percobaan terhadap kupu-kupu *Pieris brassicae* yang dilakukan oleh Koranchekoff yang dilaporkan oleh Ma (1957) menunjukkan bahwa:produk temperatur perkembangan serangga tersebut adalah 700 hari-derajat; temperatur awal perkembangan telur,larva dan purpa adalah 7-9^0 C. Dengan menghitung produk temperatur perkembangan efektif total pada berbagai lokalitas, maka dapat diketahui jumlah generasi serangga tersebut yang dapat dihasilkan pada setiap lokalitas tersebut (Tabel 8).

Tabel 8. Hubungan Antara Jumlah Generasi Teoritis yang dapat Dihasilkan oleh Kupu-Kupu *Pieris brassicae* dalam Setahun pada Berbagai Tempat dan Jumlah Generasi Nyata.

Nama Tempat	Produk temperatur Perkembangan Efektif Total	Jumlah Generasi Teoritis C_1/C_2	Jumlah Generasi Nyata
Arthankersky	832	1,20	1
Leningrad	1308	1,87	2
Yovskolot	1354	1,94	2
Vloslovgrad	2285	3,35	3
Tasjkent	3534	5,05	5

Faktor lingkungan yang mempengaruhi fenomena 'diapause' serangga banyak ragamnya, termasuk didalamnya temperatur. Faktor-faktor yang menyebabkan ulat ngengat *Cydia molesta* Hbn. (*Carpocapsa pomonella* Linn). Berdiapause adalah antara lain karena : 1) panjang hari terang atau fotoperiodisitas diperpendek 6-12 jam; 2) temperatur menurun hingga 21^0C. Jika periode penyinaran diperpanjang dan temperatur ditingkatkan hingga 24-27^OC, maka fenomena diapauses tersebut tidak akan terjadi. Ulat *Heliothis armigera* dapat memasuki suatu periode berdiapause hanya karena temperatur rendah.

Pengaruh temperatur terhadap proses ganti kulit serangga juga berbeda-beda menurut jenisnya. Frekwensi ganti kulit larva kumbang *Dermestes Spec*. Pada temperatur 28^0C, banyak yang jantan adalah 4-5 kali lebih dari pada yang normal, untuk betina 5-6 kali melebihi normal. Belalang *Melanoplus maxicanus Sauss*. Pada temperatur 22-27^OC berganti kulit 6 kali, dengan temperatur 32-37^OC, hanya berganti kulit 5 kali. Instar-instar larva serangga gudang *Tenebrio molitor* L. Pada temperatur yang rendah akan tertunda, sedang frekwensi ganti kulitnya adalah 10 kali lebih banyak daripada normal. Masa diapauses ulat ngengat *Trypoza innotata* akan diperpanjang dengan mengadakan ganti kulit ekstra jika musim keringnya berlangsung lebih lama (kalshoven, 1950).

e. Pengaruh Temperatur Pada Aktivitas Perpindahan (migrasi) dan Penerbangan Serangga

Dalam kisaran temperatur optimum, kecepatan aktivitas serangga bertambah menurut temperatur. Nimfa instar 5 belalang *L. migratoria L*. Pada temperatur 33^OC dapat meloncat sampai jarak 5,22 meter dalam semenitnya. Jika temperatur meningkat sampai $5O^O$C, maka jarak yang dapat dijangkaunya adalah 9,8 meter. Larva *Lucilla sericata Meig*. Pada temperatur 10-30^OC, kecepatan memanjatnya meningkat secara bertahap, jika temperatur menurun hingga 10^0C, kecepatan tersebut menurun secara mendadak, lewat 42^OC kecepatan memanjat itu juga menurun secara bertahap. Belalang *Dociostaurus macroceanus* Thumb. Mulai berpindah tempat pada temperatur 23,5-27^OC. Belalang *Calliptamus italicus L*. Pada temperatur tanah lewat 30^0C mulai ada aktivitas berpindah tempat. Belalang *M. mexicanus* pada temperatur udara 21,7^OC dan temperatur permukaan tanah 34,3^OC mulai mengadakan migrasi. Belalang *L. Migratoria manilensis* pada

temperatur udara 20°C mulai beterbangan diudara, jika temperatur menurun sampai 19°C, maka penerbangan akan terhenti.

Pengaruh temperatur pada aktivitas serangga sangat nyata. Efek yang dihasilkan adalah besar sekali, walaupun perbedaan temperatur tersebut hanya beberapa derajat saja. Misalnya hasil tangkapan pada berbagai jenis serangga pada lampu perangkap dapat memperlihatkan perbedaan yang nyata hanya karena efek perubahan temperatur yang kecil. Perbedaan temperatur 1^{0}F saja sudah cukup mengubah logoritme jumlah tangkapan dengan 0,051 ± 0,005. Apabila temperatur maksimum pada dua hari yang lalu meningkat dengan 7^{0}F dinihari, maka hasil tangkapan pada lampu perangkap akan meningkat menjadi dua kali lipat. Setiap peningkatan 1^{0}F pada temperatur minimum lapangan rumput, dapat mengubah logaritme jumlah hasil tangkapan pada lampu perangkap dengan 0,030, jika temperatur tersebut meningkat dengan 1^{0}F hasil tangkapan akan meningkat menjadi dua kali lipat. Temperatur terbang minimal bagi ngengat *Phrausta nubilalis* Hbn. Adalah 13,3^{0}C, maksimum 30,6^{0}C, batasan temperatur terbang yang agak sesuai adalah antara 15,6-24,4^{O}C, dan pada kondisi temperatur 21,1^{O}C, jumlah ngengat yang terbang adalah yang terbanyak. Jika temperatur lebih rendah dari 18,3^{O}C, jumlah ngengat yang terbang menurun secara cepat, lebih tinggi dari 23,9^{O}C, juga ngengat yang terbang menurun secara bertahap.

f. Pengaruh Temperatur Pada Pengambilan Makanan oleh Serangga

Kisaran temperatur makan bagi serangga kerapkali lebih kecil daripada kisaran temperatur aktivitas. Temperatur mulai aktif belalang *L. migratoria manilensis* berada pada 20°C, dan berhenti aktif pada temperatur 47°C, sedang temperatur makan berkisar antara 25-37°C. Jumlah pengambilan makanan oleh serangga pada temperatur yang berubah-ubah berbeda pula dengan jumlah makanan yang diambilnya pada temperatur yang tetap.

Bagi serangga parasitoid, selain dipengaruhi oleh temperatur udara, juga pengaruhi oleh temperatur tubuh inangnya. Dalam lingkungan temperatur aktivitas dan jika persyaratan lainnya semua sama, maka pengambilan makanan bertambah mengikuti temperaturnya. Tapi karena kecepatan tubuh serangga juga mengikuti peningkatan temperatur, maka dalam waktu tertentu, pengambilan makanan bagi pertumbuhan yang cepat adalah besar, bagi pertumbuhan lambat, pengambilan makanan kecil. Jumlah waktu pengambilan makanan total adalah lebih panjang bagi pertumbuhan lambat. Waktu yang

dibutuhkan untuk pertumbuhan nimfa belalang *Melanoplus atlantis* Riley. Pada temperatur berubah-ubah dan temperatur tetap adalah berbeda. Waktu yang dibutuhkan untuk pertumbuhan nimfa pada temperatur 27^0C berbeda 1,2 kali dari pertumbuhan pada 37^0C, tapi waktu total pengambilan makanan berbeda hanya 0,05 kali. Jadi pengambilan makan pada temperatur berubah-ubah adalah lebih kecil daripada pengambilan makanan pada temperatur tetap.

g. Pengaruh Temperatur Pada Pembiakan Serangga

Dalam kondisi tertentu, umur kedewasaan kelamin serangga bertambah pendek menurut naiknya temperatur. Pada belalang *L. migratoria manilensis*, panjang pendeknya jangka waktu sebelum terjadi kopulasi ditentukan terutama oleh temperatur. Interval frekwensi bertelur jenis belalang tersebut pada temperatur-temperatur musim panas adalah 4-5 hari, dalam musim rontok berikutnya adalah 15-23 hari. Pada kumbang moncong *Pgytonomus posticus* Gyll. Jumlah telur yang dapat dihasilkan setiap harinya berkurang menurut temperatur rata-rata harian.

Temperatur yang dibutuhkan bagi setiap serangga untuk melangsungkan aktivitas-aktivitas sexualnya berbeda menurut jenisnya. Jantan *Fonscolombia fraxina* Kalt. Pada temperatur -4^OC, dapat mencari pasangannya. Lalat *Glossina palpalis* R. Dapat melangsungkan aktivitas sexualnya dalam batasan temperatur 12-13^OC. Serangga gudang *Sitophilus granaria* Linne. Berkopulasi pada temperatur 12-13^OC. Temperatur 13^0C adalah temperatur terendah bagi kumbang tersebut untuk dapat meletakkan telur dan yang paling efektif adalah temperatur antara 22-25^OC. Bila temperatur naik hingga 27^0C, maka akan tampak gejala-gejala bertelur yang tidak teratur. Temperatur 34^OC merupakan temperatur maksimum pada masa serangga tersebut mengakhiri produksi telur. Temperatur minimum *Sitophilus* untuk dapat bertelur adalah 10^OC. Jika temperatur meningkat sampai melebihi 35^OC, kumbang tersebut tidak akan dapat bertelur temperatur efektif untuk bertelur terletak antara 26-29^OC.

Didalam alam terbuka, persyaratan temperatur yang dibutuhkan oleh serangga untuk mengadakan aktivitas sexual, kerapkali berhubungan dengan cahaya, kelembaban udara dan factor-faktor unsure iklim lainnya, terutama cahaya yang ikut memegang peranan yang penting. Tidak jarang jenis-jenis collembola mengadakan aktivitas sexual dilapangan-lapangan bersalju dengan temperatur O^0C tapi matahari cerah. Ada sebagian

serangga memperlihatkan preferensinya terhadap cahaya dalam aktivitasnya, walaupun temperatur memenuhi. Sebaliknya ada jenis-jenis yang sangat terhadap efek temperatur sekalipun didalam kondisi cahaya yang optimum. Pengaruh temperatur pada serangga terutama dalam hal pembiakannya, kadang-kadang tidak terbatas pada temperatur yang timbul pada saat-saat itu saja, tapi juga perubahan-perubahan temperatur musimam. Misalnya jumlah telur ngengat jagung *Phyrausta nubilalis* tidak terpengaruh oleh temperatur-temperatur malam atau temperatur beberapa hari dalam masa pembiakannya, tapi sebagian besar adalah ditentukan oleh perubahan-perubahan temperatur musiman.

Beberapa contoh mengenai pengaruh temperatur terhadap perkembangan beberapa serangga hama di Indonesia dapat dikemukakan antara lain: Hama Walang Sangit *Leptocorixa acuta* adalah pengisap bulir-bulir padi pada saat matang susu. Daerah penyebarannya amat luas, mulai dari darataan rendah sampai daerah pegunungan. Karena dua tempat yang berbeda jauh letak ketinggian dan terutama factor temperatur sangat berpengaruh, maka kecepatan berkembangnyapun berbeda-beda menurut letak ketinggian tempat. Temperatur rata-rata daerah bogor adalah 25°C, panjang siklus hidup L. *acuta* adalah adalah 30 hari. Didaerah lebang dengan ketinggian yang lebih besar dan temperatur yang lebih rendah (±20°C), panjang siklus hidup serangga tersebut adalah ±42 hari.

Hama the *Helopelitis antonii* didaerah bogor mempunyai panjang siklus hidup antara 18-22 hari. Didaerah-daerah dengan ketinggian 1100 meter diatas muka laut, seperti puncak, Pacet dan sebagainya, siklus hidup hama tersebut menjadi lebih panjang yakni 24-35 hari. Perbedaan-perbedaan dalam panjang siklus hidup sejenis serangga pada dua ketinggian tempat yang jauh berbeda, tidak hanya dipengaruhi oleh temperatur, tapi juga oleh panjang penyinaran matahari (fotoperiode). Ketinggian daerah Bogor adalah lebih kurang 250 meter diatas permukaan laut.

Panjang masa diapause T. *inotata* (ngengat jerami) yang berlainan, sangat berpengaruh pada fase perkembangan selanjutnya. Larve ngengat tersebut yang melewatkan diapause selama tiga bulan, imagonya akan muncul 80 hari setelah turun hujan pertama, sedang larva yang berdiapause selama 5 bulan, imagonya akan keluar 50 hari kemudian dan bagi yang berdiapause 6 bulan, imagonya keluar 30 hari kemudian (Kalshoven, 1950).

2. Kelembaban Udara

Air adalah mutlak bagi kehidupan setiap makluk hidup. Sebagian besar dari jaringan tubuh makluk hidup adalah terdiri dari air. Serangga tak henti-hentinya mengkonsumsi air dari lingkungannya dan sebaliknya juga secara continue melepaskan air tubuhnya melalui proses-proses penguapan maupun pelepasan. Oleh karenanya, kebutuhan serangga akan air sangat dipengaruhi dan berhubungan erat dengan keadaan lingkungan hidupnya terutama dalam hal kelembaban udara maupun tersedianya air.

Dalam menyatakan kelembaban udara ada berbagai macam cara, misalnya kelembaban udara mutlak, kelembaban udara spesifik, kelembaban udara nisbi, dan tekanan uap. Tetapi dari kesemua cara tersebut, yang terpenting dalam membahas ekologi serangga adalah kelembaban udara nisbi. Kelembaban udara nisbi dalam hubungannya dengan tekanan uap udara dihitung menurut rumus:

$$f = \frac{e}{E} \times 100\%$$

Dimana : f = kelembaban udara nisbi

e = tekanan uap yang sesungguhnya didalam udara

E= tekanan uap maksimum atau dalam udara yang jenuh

Alat pengukur kelembaban udara ada berbagai macam. Alat aspirasi-psychometer Assman menggunakan dua buah thermometer yakni satu berbola kering dan yang lain berbola basah. Hygrometer rambut adalah alat pengukur kelembaban nisbi yang paling popular. Pengukurannya berkisar antara 0-100 persen yang langsung dapat dibaca. Hygrograf adalah alat pengukur kelembaban udara yang dapat mencatat sendiri.

Didalam atmosfir senantiasa terdapat uap air yang dihasilkan oleh berbagai proses penguapan seperti pada permukaan-permukaan air yang terbuka (laut, danau, sungai dan sebagainya), langsung dari permukaan tanah dan juga dari tumbuh-tumbuhan. Kadar atau jumlah kadar air didalam udara dikenal sebagai “kelembaban udara”, sedangkan uap air seperti halnya dengan gas-gas lain memiliki juga tekanan, disebut “tekanan uap”. Kadar uap udara selalu tidak tetap dan berubah-ubah menurut tempat maupun factor-faktor iklimnya. Juga kesanggupan udara menampung uap air berubah-ubah menurut situasi setempat. Kesanggupan mana, terutama ditentukan oleh temperatur udaranya. Udara yang panas mengandung lebih banyak uap air daripada udara yang dingin , dengan demikian

tekanan uap-pun makin tinggi. Apabila kesanggupan menampung uap air telah mencapai puncaknya, maka keadaan semacam ini disebut “udara telah jenuh”. Pada penurunan temperatur udara, sebagian daripada uap air tersebut akan menjadi titik-titik air. Oleh karena itu perubahan kelembaban udara maupun tekanan uap udara dalam seharinya adalah cukup besar karena temperatur pada pagi, siang dan malam hari selalu tidak sama.

Pengaruh perubahan kelembaban udara terhadap kehidupan serangga adalah sangat besar, terutama dalam hal penguapan air tubuhnya dan kebutuhan air bagi serangga. Lain halnya dengan temperatur udara, dan panjangnya hari yang cukup merata (uniform) didaerah tropis selama setahun, curah hujan dan kelembaban udara sangat berbeda menurut daerahnya. Padang-padang pasir memiliki kelembaban udara yang tidak cukup untuk mengsuplai kebutuhan bagi berbagai vegetasi maupun serangga. Sebaliknya sebagian besar daerah tropis memiliki curah hujan yang berkisar antara 240-400 cm, dimana baik persediaan air maupun kelembaban udara cukup tinggi. Daerah-daerah tropis yang terbasah mengsuplai kelembaban udara yang selalu tinggi. Jarang sekali kelembaban udara menurun hingga 60 % dari keadaan jenuhnya selama saat-saat terpanas disepanjang hari. Biasanya kelembaban udara didaerah-daerah tersebut bisa mencapai rata-rata diatas 90 % disepanjang hari. Didaerah pegunungan tropis nilai tengah (mean) daripada kelembaban udara nisbi meningkat menurut berkurangnya letak ketinggian tempat. Dengan demikian pada daerah-daerah berketinggian 100 meter diatas permukaan laut, kadang-kadang diliputi oleh kabut sepanjang hari.

a. Cara Serangga Memperoleh Air

Serangga memperoleh air dari lingkungannya melalui empat cara : (a) Melalui makan : cara ini adalah cara memperoleh air yang lazim terjadi pada jenis-jenis serangga. Setiap jenis makanan mengandung air dalam proporsi tertentu. Bagi jenis-jenis serangga pemakan makanan basah, kadar air tubuhnya tinggi, sebaliknya serangga pemakan makanan kering, memiliki kadar air tubuh yang rendah. Hubungan antara jenis makanan dan kadar air tubuh serangga pada beberapa jenis serangga hama dapat dilihat pada table 2. (b) langsung mengisap air, beberapa jenis serangga diperlengkapi dengan alat pengisap air yang khusus. Tabung ventral pada abdomen collembolan langsung dapat mengisap air apabila berhubungan dengan permukaan air. Banyak diantara serangga tanah dapat mengisap air

melalui kulit tubuhnya dengan cara menempelkan dan menekankannya pada dinding-dinding tanah seperti serangga tanah pemakan akar. Beberapa jenis telur serangga.

b. Kadar Air Beberapa Jenis Serangga dalam Hubungannya dengan Kadar Air Makanan

Sengaja diperlengkapi dengan alat khusus untuk mengsuplai air secara aktif. Telur serangga Aleuradidae diperlengkapi dengan tangkai pengambil air yang dilekatkan pada tanaman inangnya. Telur belalang Acrididae diperlengkapi dengan hydropyle pada daerah ujungnya. Sedangkan telur-telur serangga yang tidak memiliki perlengkapan-perlengkapan tersebut mengambil air melalui "chorion" atau kulit telurnya yang tipis atau melalui membran-membran khusus. Hubungan kadar air jenis makanan, dan kadar air tubuh serangga dapat diikuti pada tabel 9.

Tabel 9. Hubungan Kadar Air Jenis Makanan dan Kadar Air Tubuh Serangga di Alam .

NO	SPECIES	JENIS MAKANAN	KADAR AIR MAKANAN (%)	KADAR AIR TUBUH SERANGGA (%)
1	*Sitophilus granaria Linn*	Gandum simpanan	9-11	46-47
2	*Sitophilus oryzae Linn*	Beras, Gandum simpanan	15-16	48-50
3	*Leptinotarsa decenlineata*	Daun/batang kentang	70-74	62-66
4	*Vanessa antiopa*	Daun-daun pepohonan	70-73	77-79
5	*Cirphis unipuncta*	Daun/batang jagung	77-78	87-89
6	*Pieris rapae*	Daun kubis	88-89	83-84

Jenis-jenis serangga Lepidoptera dan Diptera (serangga dewasa) mengisap air langsung dengan menggunakan alat-alat mulutnya;

(a). Melalui kulit luar mengisap uap udara, apabila uap udara telah mencapai keadaan jenuh, maka tubuh serangga dapat mengisap air langsung dari udara melalui kulit luarnya. Cara yang demikian mempunyai arti fisiologis yang penting pada berbagai jenis serangga yang hidup dipadang pasir, juga telur-telur serangga yang hidup pada berbagai tumbuh-tumbuhan dan beberapa jenis serangga tanah dalam hal yang terakhir ini, kelembaban udara didapat melalui jenis serangga tanah dalam hal yang terakhir ini, kelembaban udara didapat melalui kapiler-kapiler tanah;

(b) melalui proses oksidasi nitrogen yang terkandung dalam bahan-bahan simpanan didalam tubuh atau dari makanan serangga: pada jenis serangga tertentu, terutama yang hidup dengan makan kering ataupun lingkungan hidup yang serba kering, seperti serangga-serangga gudang, mendapatkan suplai air dari hasil proses oksidasi asam amino atau metabolism. Dalam keadaan yang amat kering, kadang-kadang serangga mengambil makanan dalam jumlah yang berlebihan, dan sebagian dari padanya dipergunakan untuk mendapatkan akan air tubuhnya. Kadar air tubuh setiap jenis serangga berbeda menurut jenis spesiesnya. Kadar air tersebut berkisar antara 50-90% dari berat badannya. Selain berbeda menurut spesiesnya juga berubah-ubah menurut stadium perkembangnya. Perbedaan kadar air tubuh berbagai jenis serangga dewasa dapat dilihat dengan jelas pada table 2. Kadar air tubuh larva serangga pada umumnya tinggi dan lambat laun berkurang hingga mencapai taraf yang minimal pada saat mencapai stadium imagonya. Larva kumbang *Popillia japonica* memiliki kadar air tubuh antara 78-81%, pupanya 74% dan imagonya 66,6%.

c. Cara Hilangnya Air Tubuh Serangga

Hilangnya sejumlah air tubuh serangga menurut lazimnya ada dua cara: (i) proses penguapan melalui kulit luar dan lubang-lubang pernafasan; (ii) melalui pelepasa. Hilangnya air tubuh pupa *Bombyx mori Linn*. 66% adalah melalui lubang-lubang pernafasan. Pada imago belalang Gastrimarpus Spec, 70% dari hilangnya air tubuh adalah melalui kulit luar ataupun lubang-lubang pernafasan berubah-ubah dan sangat dipengaruhi oleh persyaratan keadaan lingkungan dan kondisi tubuh serangga sendiri. Faktor-faktor yang merupakan persyaratan keadaan lingkungan, serta berpengaruh pada proses penguapan, langsung mempengaruhi hilangnya air tubuh serangga.

Hilangnya air tubuh berbagai larva serangga secara cepat umumnya tak terkendalikan, dan merupakan salah satu factor pembatas yang membatasi larva-larva tersebut hidup dalam habitat-habitat yang basah atau aktivitas yang hanya terbatas pada saat-saat udara berkelembaban tinggi. Lain halnya dengan serangga-serangga stadium imago yang dapat mencegah hilangnya air tubuh secara berlebihan dengan jalan membentuk kulit luar yang berlapisan kitine, zat lilin, sisik ataupun perisai table. Walaupun demikian penguapan air tubuh melalui dinding-dinding saluran pernafasan masih terjadi juga tapi dalam batas-batas tertentu.

Air tubuh juga hilang bersama-sama dengan kotoran-kotoran yang dikeluarkan, meskipun pada beberapa jenis serangga, air tersebut diserap kembali dalam jumlah tertentu oleh dinding usus besar. Jumlah air yang dikeluarkan serangga oleh alat-alat sekresi berbanding langsung dengan jumlah air yang diambilnya, dan berbanding terbaklik dengan dengan jumlah air yang hilang melalui bagian atau alat-alat lainnya. Setiap jenis serangga maupun organism lain sanga peka terhadap gangguan-gangguan pada kesemimbangan kadar air tubuh, dan factor tersebut adalah nyata sekali dalam menentukan tipe niche dalam mana speciers tersebut menetap. Faktor-faktor yang berpengaruh pada hilangnya air tubuh serangga bertambah besar sementara temperatur meningkat. Demikian pula halnya dengan aliran udara, kecepatan aliran udara besar, maka kecepatan penguapan juga besar.

Tinggi rendahnya kelembaban udara nisbi sangat menentukan proporsi dan kecepatan hilangnya kadar air tubuh serangga. Sebagai contoh, susut berat tubuh kutu busuk *Cimex lectularis Linn,* yang ditempatkan pada berbagai lingkungan dengan kelembaban udara nisbi yang berbeda. Susutnya berat tubuh serangga tersebut memperlihatkan hilangnya air tubuh. Gambar 3 menunjukkan bahwa hilangnya air tubuh serangga berbanding terbalik dengan peningkatan kelembaban udara nisbi. Kelembaban udara nisbi yang tinggi menyebabkan penyusutan berat tubuh serangga yang kecil dan berlangsung secara lambat. Sebaliknya kelembaban nisbi yang rendah mengakibatkan penyusutan berat badan yang besar pada serangga dan berlangsung secara drastis.

Dalam keadaan-keadaan tertentu, serangga kadang-kadang menggunakan fungsi stigmata sebagai alat pengatur stabilisasi kadar air tubuhnya. Dalam kondisi udara yang sangat kering ataupun jika serangga dalam keadaan bertengger, maka penutupan stigmata

dalam mengurangi hilangnya air tubuh serangga. Dalam keadaan aktif, kecepatan bernafas meningkat dan hilangnya kadar air tubuh bertambah besar pula.

d. Batas-batas Daya Penyesuaian Serangga Terhadap Kelembaban Udara

Kadar air tubuh serangga bersama-sama dengan situasi perubahan temperatur lingkungan sangat menentukan preferensi serangga terhadap kelembaban udara. Apabila kadar air tubuh tinggi atau jika suatu kehilangan air tubuh dapat segera diimbangi secara wajar (misalnya tersedia air), mala walaupun keadaan temperatur udara tinggi, tubuh serangga membutuhkan kelembaban udara yang rendah. Akan terjadi jika suatu kehilangan air tubuh tersebut dapat diimbangi dengan cepat dan wajar, maka dalam temperatur udara yang tinggi, serangga tersebut membutuhkan kelembaban udara yang agak tinggi pula.

Faktor temperatur umumya dipengaruhi juga oleh kelembaban udara. Namun jika kelembaban udara berada dalam taraf optimal, maka temperatur lingkungan agaknya kurang berpengaruh terhadap kehidupan serangga. Temperatur rendah dan kelembaban udara tinggi sangat menghambat aktivitas maupun kehidupan kebanyakan serangga kecuali bagi beberapa jenis yang biasa hidup pada tempat-tempat basah. Sama halnya dengan temperatur, kebutuhan serangga akan kelembaban mempunyai kisaran-kisarannya sendiri serta berbeda menurut spesies maupun stadium perkembangan masing-masing. Kisaran-kisarn kelembaban udara (humidity range) tersebut tidak sejelas seperti pada temperatur. Secara garis besar, titik kelembaban udara optimum bagi serangga umumnya terletak disekitar titik kelembaban maksimum, dan berkisar antara 73-100 %.

Kelembaban udara selain berpengaruh secara langsung pada keseimbangan kadar air tubuh serangga, juga secara tidak langsung dengan melalui proses penguapan, berpengaruh pada temperatur tubuh serangga. Jika kelembaban udara nisbi lebih rendah daripada taraf normalnya, maka temperatur tubuh serangga biasanya lebih rendah dari temperatur lingkungannya. Sebaliknya jika kelembaban udara nisbi tinggi, maka temperatur tubuh serangga biasanya lebih tinggi dari temperatur lingkungannya.

Kemampuan serangga bertahan terhadap kelembaban udara sangat berbeda menurut jenisnya. Jenis-jenis serangga Collembola seperti *Isotomaviridis Bourl*. Dan *Tamocerus vulgaris* Tullb. Yang biasa hidup pada tempat-tempat lembab, hanya dapat hidup pada lingkungan dengan kelembaban udara yang jenuh. Dalam kelembaban udara nisbi 50 %, serangga tersebut hanya dapat bertahan selama satu jam. *Trips tabaci* dapat bertahan

dengan kelembaban udara nisbi dibawah 30 %. Ngengat terung *Protoparce quinquemaculatus* Haw. Masih dapat bertahan pada kelembaban udara 0 %. Kumbang kentang *Epilacna* Spect. Masih dapat bertahan hidup dengan susut berat badan 50 % akibat kekeringan. Akan tetapi kumbang Cotalpa lanigera L. akan mati dengan susut berat badan hanya 25 % . Banyak dari larva kumbang seperti *Lepti notarsa, Popillia, Tenebrio* dan larva ngengat *Ephestia* akan mengalami keadaan yang amat parah apabila keadaan air tubuhnya menurun dari 75 % hingga 60 %.

Kemampuan tubuh serangga bertahan terhadap kehilangan air tubuhnya berbeda menurut stadium perkembangannya. Telur jangkrik didaerah bermusim dingin akan mati jika kehilangan 20 % kadar air tubuhnya, tapi telur yang melewatkan hibernasi tidak akan mati walaupun telah kehilangan 30 % dari kadar air tubuhnya. Larva penggerek batang padi *Tryporyza innotata* Wik. Masih dapat bertahan selama 3 – 6 bulan dengan keadaan iklim yang sangat kering dan panas. Caranya dengan bersembunyi didalam pangkal batang dibawah permukaan tanah dengan melewatkan masa diapause atau estivasi. Setelah masa tersebut berakhir, maka larva dari serangga tersebut akan aktif, dan kembali melanjutkan perkembangannya jika kelembaban tanah sudah cukup tinggi karena curah hujan telah melebihi 10 mm dan datangnya teratur.

e. Pengaruh Kelembaban Udara pada Pertumbuhan dan Perkembangan Serangga

Perkembangan serangga yang baik dan wajar membutuhkan batas-batas kelembaban udara yang sesuai. Kelembaban udara paling cocok bagi kebanyakan jenis serangga adalah mendekati titik kelembaban maksimum. Kumbang kacang hijau *Bruchus obtectus* Say. menghendaki kelembaban udara 80 – 89 %, kumbang *Epilachna varivestis* Mulsant. 73 %, *Trips tabaci* 75 – 85 %. Pengaruh kelembaban udara pada perkembangan serangga berbeda menurut kadar air tubuhnya. Dalam kondisi-kondisi tertentu, kadar air tubuh serangga mendekati taraf-taraf optimum dan apabila keadaan udara sangat kering, maka perkembangannya akan tertunda. Jika keadaan air bertahan sekitar taraf optimum, sedangkan kelembaban udara tinggi, maka proses metabolism serangga akan dipercepat dan perkembangannya diperpendek. Akan tetapi jika keadaan air tubuhnya berkurang, kelembaban udara yang rendah dapat menghambat proses metabolism, yang berarti juga memperlambat perkembangannya.

Telur kumbang *Sitopa spec*. dalam temperatur lingkungan 20 % dan kelembaban udara yang jenuh, dapat menyelesaikan perkembangannya dalam 10,5 hari. Dalam kelembaban nisbi 62 % dan temperatur yang sama, masa perkembangan tersebut menjadi 21 hari. Kelembaban nisbi kurang daripada 61 %, membuat telur-telur kumbang tersebut tidak dapat berkembang. Telur-telur *Lucilia* spec. dengan deficit kejenuhan (saturation deficit) 12 mm, dapat menyelesaikan perkembangannya dalam 23 jam, sedang pada deficit kejenuhan 2 mm, waktu yang dibutuhkan hanya 20 jam. Larva ngengat *Espethia* spec. dalam kelembaban udara nisbi 70 % dan dengan kadar air tubuh 73,5 % dapat menyelesaikan perkembangannya dalam 33 hari. Tapi dalam kelembaban udara nisbi 33 % dan kadar air tubuh 57,3 % perkembangan larva tersebut dapat diselesaikan dalam 50 hari.

Telur kebanyakan jenis serangga kerapkali berhenti berkembang karena kekeringan hingga tidak dapat melewatkan masa estivasi yang panjang. Telur serangga *Sminthurus viridis* (Collembola) pada temperatur 9 – 25 % C dan kadar air tanah 15 – 20 % menetas dalam waktu 8 – 10 hari. Apabila kadar air tanah menurun hingga kurang dari 10 %, telur-telur tersebut tidak akan menetas dan lambat laun akan berada dalam keadaan mengerut serta dapat bertahan selama 271 hari. Jika kelembaban tanah kemudian meningkat, telur-telur tersebut kembali pada bentuk semula dan akan menetas 12 hari. Dalam tepung terigu dengan kelembaban 13 %, serangga *Aleurobius farina* akan berkembang cepat, jika kelembaban tepung menurun hingga 12,4 % perkembangannya lambat dan kurang daripada 12,4 % serangga tersebut akan mati dalam jangka waktu dua minggu. Telur-telur belalang *Africa Locustana paradalina,* dalam tanah yang lembab akan menetas dalam waktu kira-kira dua minggu, akan tetapi dalam keadaan yang amat kering, telur-telur tersebut dapat bertahan hingga 3,5 tahun sementara menunggu kondisi lingkungannya pulih kembali, baru kemudian menetas.

Pada temperatur lingkungan 30°C, kelembaban tanah optimum bagi telur-telur belalang kembara *L. migratoria manilensis* berkisar 15 – 18 %. Jika kelembaban tanah menurun hingga 4 %, telur-telur tersebut masih dapat menetas tapi dalam presentase yang rendah dan jangka waktu yang tak menentu. Kadang-kadang jangka waktu tersebut tertunda 6 -7 kali dari keadaan normalnya. Larva *Platyedra gossypiella* berdiapause karena kadar air makananya berkurang, dan masa diapauses tersebut dapat berlangsung hingga dua tahun lebih, sementara menunggu kondisi lingkungan yang baik. Larva *Margarodes vitium*

Gierd. Pada tanaman anggur dapat menunda masa diapausenya 7 – 17 tahun karena kondisi kekeringan yang panjang. *Tryporyza inotata* Wlk. berdiapause karena keadaan yang sangat kering, dan masa diapauses tersebut dapat diperpanjang menurut panjangnya musim kemarau. Kelembaban udara yang rendah dapat juga mempengaruhi kehidupan jenis-jenis serangga parasit sewaktu berada dalam tubuh induk-semangnya. Kadang-kadang perkembangan jenis-jenis parasitoid tersebut mengalami penundaan karena kekeringan yang ekstrim, tapi dilanjutkan kembali apabila kondisi telah pulih. Kelembaban udara yang kelewat tinggi dapat pula mempengaruhi perkembangan pupa serangga. Masa berkempompong ngengat gandum dalam kelembaban udara yang jenuh, masa pupa tersebut mencapai 17 hari. Kecepatan proses metabolism serangga (imago) berbanding berbalik dengan derajat kelembaban udara. Stadium berkempompong kumbang kacang hijau dalam kelembaban udara nisbi 45 % adalah ± 14 hari, tetapi dalam kelembaban udara yang jenuh diperlukan waktu 22 hari. Bagi jenis-jenis serangga pengisap cairan tumbuh-tumbuhan, pengaruh kelembaban udara kurang nyata, tapi jelas dipengaruhi oleh kekentalan cairan tumbuhan secara langsung maupun tidak, dipengaruhi juga oleh kelembaban udara.e.

f. Pengaruh Kelembaban Udara Pada Pembiakan dan Reproduksi Serangga

Dalam banyak hal, kelembaban udara yang agak tinggi sangat menguntungkan bagi pembiakan serangga, tapi kelembaban yang kelewat tinggi sebaliknya dapat menghambat pembiakan tersebut. Pada temperatur lingkungan 25^0C dan kelembaban udara nisbi 10 %, kumbang kacang hijau betina B. obtectus rata-rata meletakkan telur 44,4 butir perindividu. Pada temperatur yang sama, tapi pada kelembaban udara nisbi 25 %, jumlah butir telur yang dapat dihasilkan meningkat menjadi 49,8 butir, dengan kelembaban udara 50 % menjadi 62,8 butir, kelembaban udara 75 % menjadi 64,8 butir, 90 % menjadi 75,4 butir, tapi lewat 98 % butir telur yang dihasilkan berkurang menjadi 60,8 butir. Kedewasaan serangganyapun sangat dipengaruhi leh kelembaban udara. Belalang sahara *Schistocera gregaria* Hubn. pada temperatur 30 – 40° C dan kelembaban udara nisbi 50 – 100% akan menjadi dewasa dalam 25 – 28 hari. Apabila kelembaban udara menurun hingga 35 – 40 %, kedewasaan belalang tersebut tertunda sampai beberapa bulan. Derajat kelembaban yang agak tinggi dapat memperpanjang masa hidup serangga penggulung daun anggur *Clysia ambiguella* Hubn. dan memperbanyak hasil telur. Kelembaban udara dimaksud berkisar antara 70 – 90 %. Dalam masa reproduksi, kebutuhan serangga akan kelembaban

udara adalah berbeda menurut jenisnya. Kelembaban udara nisbi optimum bagi pembiakan serangga *Glossina palpalis* R. & D. adalah 70 %, tapi dengan kelembaban 100 % reproduksi tersebut tertund (terhalang) bahkan sampai terhenti.

g. Pengaruh Kelembaban Udara Pada Aktivitas Serangga

Pengaruh kelembaban udara terhadap aktivitas serangga mencakup dua segi : (1) Kelembaban udara berpengaruh pada intensitas cahaya dan temperatur lingkungan; (2) berhubungan langsung dengan temperatur dan kadar air tubuh serangga. Bagi jenis-jenis serangga "diurnal" pengaruh kelembaban udara tidak tampak jelas, karena cahaya yang kuat dan temperatur tinggi biasanya diikuti oleh kelembaban udara yang rendah. Dalam keadaan yang demikian serangga-serangga semacam ini lebih dapat menyesuaikan diri pada lingkungan dengan kelembaban udara yang agak rendah. Jika pada siang hari, kelembaban udara meningkat hingga cukup mempengaruhi aktivitas serangga, maka perubahan –perubahan yang nyata juga terjadi pada temperatur dan cahaya. Pengaruh-pengaruh yang ditimbulkan oleh perubahan-perubahan kedua factor tersebut kadang-kadang lebih besar pengaruhnya daripada kelembaban udara.

Pengaruh kelembaban udara pada jenis-jenis serangga nocturnal dan serangga tanah tampak lebih jelas. Golongan serangga tersebut lebih dapat menyesuaikan diri pada keadaan dengan kelembaban udara yang agak tinggi, terutama kelembaban tanah. Studi mengenai aktivitas jenis serangga nocturnal biasanya dilakukan dengan menggunakan lampu perangkap (light trap). Hasil penangkapan pada lampu perangkap tersebut dapat memperlihatkan angka aktivitas ngengat *Agrotis* spec. mempunyai kecenderungan meningkat pada kelembaban udara yang rendah hingga pada kelembaban udara yang rendah hingga pada kelembaban 54 %. Lewat batas-batas kelembaban tinggi, angka aktivitas tersebut sebaliknya menurun dan sebanding. Pada perubahan kelembaban udara nisbi yang dimulai dari rendah hingga 85 %, jumlah nyamuk gudang Culex fatigans yang manusia meningkat sedemikian rupa hingga merupakan kurva garis lurus yang menaik. Pada kelembaban udara nisbi 85 – 95 % angka tersebut cenderung stabil, lewat 95 % kurva tersebut sebaliknya menurun dan kurang dari 40 % aktivita nyamuk tersebut kecil. Hama gasnjur gandum *Sitodiplosis* (*Techodiplosis*) mosellana Gehin. Aktif pada musim semi, tapi aktivitasnya sangat dipengaruhi oleh kelembaban udara dan kelembaban tanah dimana serangga tersebut melewatkan masa hibernasinya sebagai larva. Larva Sitodiplosis yang

melewatkan masa hibernasinya akan aktif kembali apabila kelembaban tanah telah meningkat karena turun hujan pada kira-kira lewat pertengahan bulan april. Rangsangan tersebut memungkinkan larva memasuki stadium pupa dan kemudian imago. Larva penggerek batang padi *tryporyza innotata* Wlk. melewatkan masa diapausenya selama kurang lebih 3 bulan, namun jika musim kemarau lebih panjang daripada normal, masa tersebut akan ditunda sampai kira-kira 6 bulan. Faktor yang terutama berperan dalam hal tersebut adalah kelembaban tanah maupun udara.

Keadaan tanah yang terlampau kering, memaksakan jenis-jenis serangga tanah bersembunyi lebih dalam dibawah permukaan dan diantara rongga-rongga tanah. Sekali-kali mereka aktif diatas tanah pada malam hari atau waktu subuh jika tanahnya menjadi lembab.

h. Hubungan antara Temperatur dan Kelembaban Udara Serta Pengaruhnya pada Serangga

Didalam kondisi alam terbuka, kedua unsur temperatur dan kelembaban hadir bersamaan. Mana yang lebih berperan penting dalam kehidupan serangga, hal ini bergantung dan sangat berbeda menurut jenisnya, siklus hidup, musim, daerah/tempat dan hal-hal lainnya. Didaerah-daerah subtropics dapat dilihat bahwa selang fluktasi temperatur (rang of temperatur fluctuation) dimusim dingin adalah lebih besar dari selang fluktasi curah hujannya. Sebaliknya, selang fluktasi curah hujan dalam musim panas lebih besar dari selang fluktuasi temperaturnya. Oleh karenanya unsur factor penting bagi aktivitas kehidupan serangga selama musim dingin adalah temperatur udara. Sebaliknya, kelembaban udara merupakan unsure factor penting dalam musim panas.

Temperatur 26,6^{O}C dan kelembaban udara 70 % merupakan keadaan iklim yang optimal bagi kehidupan kumbang *Sitophilus oryzae* dewasa. Dengan temperatur yang sama, jika kelembaban diturunkan terlalu rendah, dapat mengakibatkan kumbang-kumbang tersebut mabuk dan kacau. Jika kumbang kapas *Oxycarenus hyalinipensis* Costa. Langsung diletakkan pada temperatur 25°C dan kelembaban dan kelembaban udara nisbi 60 % maka mortalita kumbang tersebut akan mencapai 100 % dalam waktu 150 jam. Jika kelembaban ditingkatkan hingga 80 %, mortalitas yang sama akn terjadi dalam waktu 300 jam.

Setiap jenis serangga memiliki kebutuhan akan keadaan temperatur dan kelembaban yang khusus. Ngengat bahan pakaian pada lingkungan yang kering dan hangat akan

mengalami hambatan dalam perkembangannya. Lingkungan yang kering dan dingin menunda perkembangannya, sedang lingkungan yang basah dan dingin sangat menghambat perkembangannya. Lingkungan yang membantu perkembangan ngengat tersebut adalah lingkungan yang basah tapi hangat. Didalam iklim yang kering, keadaan temperatur udara yang rendah dengan kelembaban yang tinggi mengakibatkan tertundanya pertumbuhan serangga *Grapholitha glycinwarella* Matsumura. Temperatur udara yang tinggi dan kelembaban yang tinggi pula cenderung mempersingkat hidup serangga imagonya dan menekan kecepatan daya reproduksi. Reaksi induk semang dan parasit terhadap temperatur dan kelembaban mungkin sangat berbeda. Berdasarkan percobaan didapat keterangan bahwa dengan temperatur dan kelembaban mungkin sangat berbeda. Berdasarkan percobaan, didapat keterangan bahwa dengan temperatur yang sama, reaksi pupa *Protoparce quingquemaculatus* sebagai induk semang parasit *Winthemia quadripustalata* terhadap kelembaban udara tidak sama. Pupa *Protoparce* pada temperatur 27°C, tidak begitu bereaksi terhadap percobaan kelembaban udara, dalam variasi kelembaban antara 0 – 73,4 % perbedaan masa stadium pupa hanya kira-kira 1,5 hari. Sedang pada temperatur yang sama, kelembaban optimal bagi lalat parasit Winthemia adalah 73,4 % dalam variasi kelembaban 73,4 – 7,1 % beda masa pupanya 10,5 hari apabila kelembaban menurun hingga 0 %, maka semua lalat parasit itu tidak dapat berkembang, sedang ngengat sebagai induk semangnya dapat menyelesaikan perkembangannya.

Dalam meneliti pengaruh temperatur kelembaban secara bersama-sama, kerapkali menyangkut dua hal yakni: “kombinasi temperatur-kelembaban” dan “koefisien temperatur-kelembaban”. Kecepatan berkembang belalang *Melanoplus mexicanus atlantis* Riley paling laju adalah pada kombinasi temperatur 20°C dan kelembaban 80 %. Jika temperatur meningkat maka juga kelembaban harus meningkat. Temperatur makin tinggi, batas-batas kelembaban tinggi makin sempit. Temperatur 37°C, batas kelembabannya adalah tetap 70 – 100 %; temperatur 27°C, batas kelembabannya 30 – 100 %. Dalam temperatur tetap 27°C dan lengas diatas 60 %, telur-telur belalang tersebut menetas dalam 10 hari, pada kelembaban 50 % menetas dalam 11 hari, kelembaban 40 % dibutuhkan waktu menetas 12 hari, kelembaban 30 %, menetas dalam 13 hari dan pada kelembaban 10 – 20 % maka telur-telur tidak akan menetas.

Pengaruh kelembaban yang berbeda dengan temperatur ruang yang berkisar pada 24,5 – 31, 5°C, terhadap kecepatan tumbuh populasi kumbang *Sitophilus oryzae* L. berbeda-beda pula. Dari percobaan yang dilakukan dilaboratorium Ilmu Hama I.P.B didapat keterangan sebagai berikut : kecepatan tumbuh populasi S. oryzae tertinggi adalah pada kelembaban relative 90 % berturut-turut 80 % dan 60 %. Dapat dilihat bahwa kecepatan tumbuh populasi tersebut selaras dengan peningkatan kelembaban udaranya. Sedang mortalitas yang didapat, terendah adalah pada lengas 90 % dan berbeda sangat nyata dari kelembaban-kelembaban yang lain. Hal mana menunjukkan bahwa dalam temperatur ruang, kelembaban relative optimum bagi pertumbuhan S.oryzae adalah 90 %. (Noekman, Sunjaya dan Turngadi, 1970).

Penggunaan koefisien temperatur-temperatur hendaknya dibatasi pada batas-batas temperatur dan kelembaban tertentu, karena dari kombinasi temperatur kelembaban yang berbeda, mungkin dihasilkan koefisien temperatur kelembaban yang sama. Misalnya temperatur 10°C kelembaban 30 %, temperatur 20°C kelembaban 60 % dan temperatur 30^{0}C kelembaban 90 %, ketiga kombinasi ini menghasilkan koefisien temperatur-kelembaban yang sama yakni 3, tapi pengaruhnya terhadap serangga jelas berbeda besar.

Membahas kelembaban udara sebagai factor ekologi tunggal yang berpengaruh pada kehidupan serangga secara keseluruhan pada hakekatnya adalah kurang tepat, karena kelembaban udara erat hubungannya dengan temperatur udara maupun proses-proses penguapan. Didalam kenyataan, temperatur udara mempengaruhi kelembaban udara relative dan juga kecepatan menguap, dan demikian berlaku juga sebaliknya. Jika penguapan terjadi dan kondensasi terbentuk pada kondisi yang demikian itu cenderung mengubah temperatur udara. Tidak jarang terjadi bahwa kelembaban udara berinteraksi dengan temperatur sedemikian rupa hingga sulit atau sama sekali tidak dapat dipisahkan masing-masing pengaruhnya pada kehidupan serangga. Jadi dalam kondisi yang demikian, pembahasan tentang pengaruh-pengaruhnya pada kehidupan serangga seharusnya temperatur kelembaban dianggap sebagai satu unsur factor.

3. Curah Hujan atau Presipitasi

Hujan adalah suatu gejala gerak konveksi udara yang kemudian mengalami pendinginan diatas (dalam atmosfer) sehingga terjadi kondensasi dan akhirnya jatuh

sebagai titik-titik air atau jatuhnya titik-titik air tersebut karena tertumbuk pada gunung. Hujan mempunyai arti yang sangat penting dalam bidang ekologi serangga, berpengaruh terutama pada pertumbuhan dan aktivitas serangga. Unsur-unsur penting dalam perihal hujan dalam hubungannya dengan kehidupan serangga adalah (i) banyaknya curah hujan; dan (iii) intensitas hujan.

Banyaknya curah hujan diukur dengan suatu alat yang dinamakan alat pengukur hujan atau 'Ombrometer'. Alat tersebut terdiri dari sebuah corong dengan luas mulut corong 200 cm^2 dan berfungsi sebagai alat penadah titik-titik hujan. Dari corong tersebut air hujan ditampung kedalam sebuah wadah yang dilengkapi dengan keran pada bagian dasarnya. Volume air hujan yang tertampang dalam waktu 24 jam diukur dengan sebuah tabung ukur khusus bertandakan garis-garis pembagi persepuluhan dan dinyatakan dalam mm atau inci. Satu millimeter air hujan berarti sama dengan satu liter air hujan yang jatuh pada tiap meter persegi luasan tanah. Dasar perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$0{,}1 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} = 1000 cm^3 \text{ atau } 1 \text{ liter.}$$

Untuk mendapatkan angka-angka curah hujan yang tepat dan seragam, pengukurannya dilakukan selalu pada setiap jam 7 pagi hari (suatu kompromi). Bentuk alat pengukur hujan yang lebih praktis adalah alat pengukur yang dapat mencatat sendiri secara otomatis disebut "ombrograph" atau alat pencatat hujan. Alat semacam ini diperlengkapi dengan sebuah pena kecil yang bergerak secara vertical dan memetahkan titik-titik menjadi garis kurva pada selembar kertas (ombrogram) yang digerakkan berputar oleh mekanisme lonceng.

Dalam mempelajari curah hujan dalam hubungannya dengan lingkungan termasuk kehidupan serangga adalah mengenai situasi distribusi hujan dalam setahun untuk sebulannya. Karena walaupun curah hujan tahunan pada suatu lokasi jumlahnya tetap, tapi mungkin berada dalam hal padat atau konsentrasi curah hujannya dan distribusi curah hujannya dari tahun ke tahun. Perbedaan-perbedaan dalam hal tersebut jelas akan membawah pengaruh yang berlainan pada kehidupan serangga khususnya. Padat atau konsentrasi curah hujan menggambarkan keadaan tentang hari-hari mana dalam sebulan atau bulan-bulan mana dalam setahun yang paling banyak turun hujan atau dengan perkataan lain hari-hari atau bulan-bulan mana yang padat dengan hujan. Sedang distribusi

hujan memberikan gambaran tentang bagaimana penyebaran hari hujan dalam sebulan atau bulan hujan dalam setahun. Hal-hal semacam ini dapat dilihat dengan jelas pada daerah-daerah yang memiliki musim-musim kemarau dengan kekeringan yang nyata. Untuk menyatakan distribusi hujan dalam setahun biasa dipergunakan angka-angka curah hujan bulanan sebagai bandingan. Misalnya dalam bulan-bulan mana terdapat banyak hujan (bulan basah) dan bulan-bulan mana tanpa hujan sama sekali (bulan-bulan kering). Untuk menghindarkan ketidak-seragaman atau kesalahan-kesalahan didalam menghitung curah hujan bulanan, jumlah hari dalam tiap bulan disama-ratakan menjadi 30 hari.

Periodisitas timbulnya suatu hama sangat erat hubungannya dengan periodisitas curah hujan tahunan dan perubahan-perubahan jangka panjang. Kedua peristiwa ini penting artinya dalam mempelajari ekologi serangga. Untuk menyatakan perubahan-perubahan jangka panjang dari curah hujan, kerapkali digunakan indeks perubahan rata-rata curah hujan. Indeks perubahan curah hujan umumnya adalah kecil bagi daerah-daerah basah (banyak hujan) dan besar untuk daerah-daerah kering.

Intensitas hujan menyatakan besarnya hujan yang turun pada saat atau hari itu. Untuk melukiskan intensitas hujan, dikenal beberapa istilah umum yang dipakai oleh petani maupun masyarakat yakni "''hujan lebat'', ''badai'', atau ''rintik-rintik''. Intensitas curah hujan biasa dihitung dengan rumus:

$$I_{hujan} = \frac{\text{Junlah curah hujan}}{\text{Jumlah hari atau jam hujan}}$$

Banyaknya atau jumlah hari hujan juga dinyatakan sebagai "frekuensi hujan" dan cara menghitungnya adalah sebagai berikut :

$$F_{hujan} = \frac{\text{Jumlah curah hujan}}{\text{Jumlah seluruh hari}}$$

Dalam menganalisa curah hujan dan pengaruhnya pada serangga, kerapkali dipakai indeks-indeks frekuensi hujan dan padat hujan. Banyaknya kali hujan atau jumlah hari hujan dikenal sebagai "indeks frekuensi absolut". Indeks frekuensi absolut jika dikalikan dengan 100 % maka indeks ini dikenal dengan "indeks frekuensi relative". Perbandingan antara jumlah total curah hujan dalam satuan waktu (setahun, semusim, atau sebulan) dengan indeks frekuensi absolut menyatakan "padat hujan". Padat hujan dapat diartikan

juga sebagai curah hujan rata-rata setiap hari hujan. Meski besar padat hujan, berarti hujan lebat makin banyak atau intensitas hujan makin besar pula.

$$D_{hujan} = \frac{\text{Jumlah total curah hujan (sebulan, semusim atau setahun)}}{\text{Jumlah hari hujan (sebulan, semusim, atau setahun)}}$$

Temperatur dan curah hujan adalah dua unsur factor iklim yang sangat penting artinya dalam mempengaruhi kehidupan serangga. Segala aktivitas serangga dalam tingkatan-tingkatan yang berbeda-beda adalah akibat langsung daripada pengaruh-pengaruh unsur-unsur dari factor tersebut. Didalam kondisi-kondisi yang wajar, dua unsur factor tersebut saling berpengaruh atau terjadi suatu interaksi hingga satu dengan yang lain tidak dapat dipisah-pisahkan. Oleh karenanya penelitian yang menyangkut hubungan serangga dengan iklim, unsur temperatur dan curah hujan selalu dibahas bersama dan dicari hubungan timbal baliknya. Untuk membandingkan sifat-sifat atau ciri-ciri kondisi cuaca dipakai koefisien kombinasi temperatur kelembaban. Kelembaban dalam hal ini berhubungan dengan curah hujan, penguapan dan temperatur lingkungan. Untuk menyatakan kombinasi temperatur dan kelembaban (temperature humidity combination) dipakai beberapa cara sebagai berikut :

(i) Koefisien temperatur kelembaban atau koefisien temperatur curah hujan:

$$Q = \frac{P}{\sum T}$$

Dimana : Q = koefisien temperatur kelembaban atau koefisien temperatur curah hujan
P = jumlah total curah hujan bulanan atau tahunan (satu tahun atau satu bulan)
$\sum T$ = jumlah total temperatur rata-rata tiap bulan dalam setahun atau tiap hari dalam sebulan

Namun karena menurut kenyataan serangga baru mulai aktif atau berkembang pada temperatur tertentu (temperatur optimum atau temperatur efektif minimum), maka rumus diatas perlu disesuaikan seperti berikut:

$$Q = \frac{P}{\sum (T - t)}$$

Dimana: t = temperatur efektif minimum

(ii) Koefisien Penguapan

Dalam musim dimana banyak serangga sedang aktif, teristimewah didaerah tropis, kelembaban tropis, kelembaban sangan menentukan aktivitas serangga. Oleh karenanya untuk menerangkan kondisi temperatur-kelembaban lingkungan dapat dipakai rumus keseimbangan kadar air seperti dibawah ini:

$$EQ = \frac{P}{E}$$

Dimana : EQ = koefisien penguapan
P = curah hujan
E = jumlah penguapan total

(iii). Koefisien Kekeringan

Slonjev mendapatkan evaporasi atau penguapan dalam bulan-bulan musim kering adalah sama dengan jumlah temperatur dibagi dengan angka 10 :

$$E = \frac{\sum T}{10}$$

Dimana : E = penguapan
$\sum T$ = jumlah temperature

Koefisien kekeringan dinyatakan sebagai nilai perbandingan antara jumlah total curah hujan dalam musim panas dan jumlah total penguapan tanah dalam musim tersebut. Dengan koefisien tersebut dinyatakan derajat kelembaban suatu tempat sebagai berikut :

$$K = \frac{P}{E} = \frac{P \,.\, 10}{\sum T}$$

Dimana : K = koefisien kekeringan

P = jumlah total curah hujan pada temperatur-temperatur lebih tinggi dari 10^0 C

$\sum T$ = jumlah total temperatur dalam musim dimaksud

(iv) Nilai fisiologis

Berdasarkan pengaruh efektif daripada temperatur kelembaban pada fisiologis organisme, dapat ditentukan nilai fisiologis temperatur kelembaban terhadap suatu jenis tanaman atau binatang, termasuk serangga. Nilai tersebut dapat dipakai sebagai indeks aktivitas maupun pemencaran sejenis binatang atau serangga, dan rumus untuk nilai fisiologis adalah sebagai berikut :

$$PV = \frac{\sum T.P}{E}$$

Dimana : PV = nilai fisiologis

P = jumlah total curah hujan

$\sum T$ = jumlah total temperatur

E = jumlah total penguapan

Pengaruh hujan terhadap perkembangan dan aktivitas serangga dapat dilihat jelas pada penggerek batang padi *Tryporyza innotata* Wkl. Larva ngengat tersebut dalam keadaan berdiapause akan terangsang oleh kelembaban tanah yang diakibatkan karena curah hujan telah mencapai 10 mm dan turun secara teratur. Apabila dalam musim kemarau turun hujan yang lebat hingga menungkatkan kelembaban tanah, maka keadaan inipun akan merangsang perkembangan larva tersebut yang sedang berdiapause. Akibatnya, ngengat yang terbang keluar akan mati tanpa tempat-tempat bertelur, atau jika sampai tanah-tanah tergenang, maka larva-larva yang masih berada didalam tunggul-tunggul padi akan mati atau sekurang-kurangnya akan membusuk karena serangan cendawan.

Efek mekanis hujan merupakan pengaruh yang langsung pada populasi serangga. Hujan lebat dapat menghanyutkan sebagian besar dari populasi jenis serangga-serangga kecil dan lemah seperti kutu-kutu daun, dan sebagainya. Oleh karenanya populasi serangga-serangga tersebut akan menurun secara mendadak. Berbagai jenis tungau antara lain *Tetranychus* spec. menjadi hama pada tanaman singkong, kedelai, teh, dan sebagainya. Populasi tungau-tungau tersebut meningkat pada musim kemarau dengan temperatur yang cukup tinggi dan kelembaban yang rendah. Sekali hujan turun lebat dalam musim basah maka sebagian besar populasinya akan tersapu hingga menurun sampai dibawah harkat ambang ekonomi. Oleh sebab itu, masalah hama tungau masih belum dianggap penting untuk diadakan pemberantasan secara kimiawi di Indonesia.

Hujan-hujan lebat mengakibatkan terganggunya permukaan tanah. Keadaan semacam ini mengakibatkan mortalitas yang tinggi, terutama bagi jenis-jenis serangga tanah seperti ulat *Agrotis* spec, jangkrik, anjing tanah, telur-telur belalang dan sebagainya. Disamping itu hujan yang turun secara terus menerus mengakibatkan kelembaban udara yang tinggi hingga demikian kesempatan bagi cendawan-cendawan, khususnya yang pathogen bagi serangga tumbuh besar. Sebaliknya curah hujan yang sangat kurang, besar pengaruhnya pada populasi suatu hama maupun waktu timbulnya hama tersebut, juga terhadap kemampuan berbiaknya.

4. Cahaya dan Radiasi

Sumber cahaya banyak ragamnya, seperti radiasi matahari, cahaya bulan, cahaya lampu dan sebagainya. Semua energy yang penting bagi kehidupan organisme baik secara langsung maupun tidak, praktis adalah berasal dari matahari. Radiasi matahari menghasilkan efek pemanasan langsung dan transformasi-transformasi fotokimiawi. Energi yang dihasilkan oleh proses transformasi tersebut akhirnya diwujudkan dalam bentuk panas juga. Cahaya sebagai factor ekologis pada umumnya sangat terarah. Dalam hal ini, cahaya berbeda dari factor temperatur karena panas kerapkali mencapai organisme hidup dari berbagai arah pada saat yang bersamaan.

Radiasi dibedakan menjadi dua macam yakni : (1) Radiasi langsung, radiasi langsung berasal dari matahari ; (2) Radiasi difus, radiasi difus berasal dari atmosfir secara keseluruhan. Untuk menjelaskan sifat radiasi, dibedakan orang panjang gelombang cahaya

dan intensitas cahaya. Panjang gelombang cahaya atau electromagnet berkisar antara 290 – 5000 milimikron (I milimikron = 1/1000 mikron; 1 mikron = 1/1000 mm; 1 milimikron = 10^{-5} mm = 10^{-7} cm; 1 Å = 0,1 milimikron. Cahaya yang dapat dilihat manusia adalah antara 400 – 750 milimikron, sedangkan cahaya ultraviolet berada dibawah 390 mu. Aktivitas fotokimiawi adalah terbesar pada ujung violet dan efek membunuh pada protoplasma juga terbesar. Panas radiasi sebagian besar berasal dari gelombang-gelombang yang panjang, dan intensitas cahayanya adalah terkuat. Sebaliknya gelombang-gelombang yang panjang, dan intensitas cahayanya adalah terkuat. Sebaliknya gelombang cahaya ultra violet pendek, karenanya intensitas rendah/lemah. Meningkatkan panjang gelombang berarti meningkatkan intensitas juga. Gelombang merah dan merah-jingga adalah intensitas yang terkuat.

Intensitas radiasi berhubungan erat dengan sudut pancar matahari atau dengan ketinggian letak matahari. Sudut pancar ini terletak antara 0 - 90^0. Sudut penyinaran matahari makin besar, cahaya yang diterima oleh muka tanah makin kuat dan panas radiasi yang diterima oleh tanah makin tinggi pula. Ketinggian matahari berbeda menurut letak garis lintang geografis. Derajat garis lintang geografis. Derajat garis lintang geografis makin besar (makin ke utara atau selatan), ketinggian matahari makin kecil. Oleh karenanya, juga intensitas radiasi makin lemah pada garis lintang pada garis lintang geografis yang makin besar. Pada posisi matahari 90^0, intensitas radiasi pada setiap satuan luas tanah adalah paling tinggi. Ketinggian matahari makin kecil, areal yang dapat disinari makin luas, sedangkan intensitas cahayanya makin lemah.

Kekuatan cahaya (light flux) dinyatakan dengan satuan “PHOT” atau “LUX” (I lux = 10^{-4} pot), juga dapat dinyatakan dalam suatu perbandingan dengan derajat penyinaran sepanjang hari cerah didaerah khatulistiwa yang ditentukan sebagai angka indeks 1 atau 100 %. Untuk menyatakan intensitas radiasi matahari dipakai satuan gram calori per m^2, sedangkan intensitas cahayanya dinyatakan dengan satuan international “cahaya lilin” atau “lumen”. Radiasi langsung (cahaya langsung) adalah unsur factor penting bagi iklim mikro maupun makro. Dalam kondisi umum, intensitas radiasi difus seharusnya jauh lebih rendah daripada radiasi langsung. Radiasi langsung sangat dipengaruhi oleh kondisi tempat, sedang radiasi difus jarang dipengaruhi oleh kondisi tempat.

Pada saat panas radiasi menyinari tanah, kira-kira 60 % akan hilang dalam perjalanan, sedangkan hanya 40 % yang dapat menembus lapisan atmosfir sampai dipermukaan tanah, kira-kira 17 % dari 60 % diserap oleh udara. Sifat menyerap cahaya dari benda-benda didalam atmosfir berbeda-beda. Gas 0_3 (ozon) dapat menyerap sebagian besar dari sinar ultraviolet. Gas CO_2 menyerap gelombang radiasi disekitar panjang 15 mikro yang berarti juga sebagian dari sinar infra merah. Uap air dan awan dapat menyerap sebagian besar gelombang radiasi panjang seperti energy sinar merah maupun sebagian spectra yang dilihat oleh mata. Awan tidak dapat memantulkan banyak radiasi, tapi dapat mengubah sifat daripada cahaya yang masuk. Disamping itu, partikel-partikel debu di udara juga dapat menyerap dan memantulkan berbagai cahaya. Partikel-partikel kecil diudara dapat pula menghasilkan cahaya difus. Jika perjalalanan didalam atmosfir yang harus ditempuh oleh radiasi matahari jauh, maka intensitas terbesar dari spectrum diatas tempat tersebut cenderung bergeser kearah gelombang panjang. Oleh karenanya, cahaya pada saat-saat matahari terbut dan terbenam mempunyai arti tersendiri dalam biologi serangga.

Reaksi seranggga terhadap cahaya erat hubungannya dengan lingkungan hidupnya. Jenis serangga yang hidup dilingkungan hutan rimba, didalam batang tanaman atau akarnya, dibawah tanah, kebanyakan serangga gudang dan serangga-serangga rumah tangga, memiliki kebiasaan hidup dengan cahaya minimum dan lemah. Jika bagi golongan serangga ini intensitas cahaya lingkungannya ditingkatkan, maka aktivitasnya tertekan. Sebaliknya, serangga-serangga yang biasa hidup di alam terbuka, selalu menginginkan cahaya yang terang. Aktivitas serangga-serangga ini akan tertekan jika intensitas cahayanya dikurangi. Meningkatkan intensitas cahaya dapat mempercepat kedewasaan serangga dan mempersingkat umur imagonya. Jika penyinaran cahaya kuat itu berlangsung secara continue dan dalam waktu yang cukup lama, maka pertumbuhan serangga akan terhenti, pembiakan tertekan atau bahkan mati. Penyesuaian serangga terhadap kondisi cuaca, disamping diwujudkan dalam bentuk kebiasaan hidup, juga dalam hal fisiologis, anatomis, morfologis, indera penglihatan dan warna tubuh yang bervariasi.

a. Preferensi dan Pembedaan Serangga Terhadap Warna dan Cahaya

Sebagaimana telah dijelaskan diatas bahwa cahaya dan panas keduanya berasal dari radiasi matahari yang dipancarkan ke permukaan bumi. Secara langsung maupun tidak langsung, segala reaksi yang diwujudkan serangga dalam kehidupannya erat hubungannya

dengan kedua factor tersebut diatas. Dari spectrum cahaya matahari, sinar infra merah merupakan sumber panas (kalori) yang terpenting. Panjang gelombangnya terletak antara 7000 – 7700 Å, sedanga cahaya yang dapat dilihat oleh manusia terletak antara panjang gelombang 7700 – 4000 Å. Sinar ultraviolet terletak antara panjang gelombang 2920 – 4000 Å. Penglihatan serangga tidak sama dengan penglihatan manusia terhadap gelombang cahaya. Serangga cenderung memilih gelombang cahaya pendek.

Batas penglihatan warna dari lebah madu cenderung pada gelombang pendek, yakni antara batas warna merah jingga sampai ultraviolet. Serangga tersebut tidak dapat membeda-bedakan warna merah. Batas penglihatan warna bagi serangga berbeda-beda menurut jenisnya. Misalnya, penglihatan semut dapat mencapai hingga batas ultraviolet; lebah madu hingga 2970 Å; lalat rumah hingga 2570 Å, dan lalat *Sarcophaga* hingga 2500 Å. Kebanyakan jenis serangga tidak dapat membedakan gelombang yang agak panjang. Misalnya, lebah madu terbatas penglihatannya pada 6500 Å kebawah. Beberapa kupu-kupu seperti *Pieris rapae, P.brassicae,Vanessa urticae* dapat membedakan cahaya merah sedang Agrotis spec. sangat pekah terhadap semua jenis cahaya termasuk cahaya merah. Potinus puralis dapat menerima cahaya hijau (5200 – 5600 Å) hingga cahaya merah (6900 Å). Ini adalah gelombang-gelombang cahaya yang paling panjang yang dapat dilihat oleh serangga.

Rangsang berbagai panjang gelombang cahaya atau cahaya bewarna terhadap serangga berlainan pula. Cahaya kuning sangat mempengaruhi serangga semut *Formina spec*. Cahaya kuning merangsang semut-semut tersebut untuk memindahkan pupa-pupanya ketempat lain. Serangga pada pohon bamboo *Dixippus* sangat dirangsang oleh warna hijau hingga merubah warna tubuhnya. Warna hijau kekuning-kuningan dengan gelombang antara 5330 – 5350 Å adalah warna yang efektif untuk memikat jenis-jenis lebah. Sedangkan lalat *Calliphora* spec. tertarik oleh gelombang cahaya 5040 Å. Serangga guidang *Tenebrio* spec. sangat aktif pada cahaya bergelombang 5350 Å. Dibandingkan cahaya-cahaya yang lain, sinar ultraviolet memiliki daya tarik terdahap serangga yang terbesar. Akan tetapi daya tarik serangga ini berbeda menurut intensitas cahayanya. Dalam lingkungan cahaya lemah, daya tarik terbesar bagi kebanyakan jenis serangga adalah pada ultraviolet dengan panjang gelombang 3650 Å. Tapi pada cahaya yang kuat, warna biru

kehijau-hijauan dengan panjang gelombang antara 4700 – 5280 Å memiliki daya tarik yang terbesar bagi serangga.

Kebanyakan bunga bewarna putih dapat menyerap cahaya ultraviolet berasal dari radiasi matahari. Sedang bunga warna kuning dan biru memantulkan kembali cahaya tersebut dengan kuat. Oleh sebab itu, apa yang bagi manusia dilihat sebagai bunga warna putih, oleh lebah-lebah madu dilihatnya sebagai warna biru kehijau-hijauan. Ada pula diantara bunga bewarna putih yang dapat memantulkan kembali cahaya ultraviolet. Oleh lebah madu warna bunga tersebut dilihatnya sebagai tak berwarna dan tidak dapat dilihat atau dibedakan. Oleh sebab itu, reaksi lebah-lebah madu terhadap warna putih ditentukan oleh sifat-sifat warna putih itu sendiri. Jenis-jenis kupu-kupu dan lebah madu terkenal tertarik pada warna merah. Mereka tertarik oleh beberapa jenis bunga bewarna merah tua, hanya saja karena bunga-bunga tersebut dapat memantulkan cahaya-cahaya ultraviolet.

Kupu-kupu *Pieris brassicae* dalam mencari makanan, memperlihatkan preferensi yang nyata terhadap warna bunga biru dan ungu, disusul oleh bunga-bunga bewarna merah dan hijau, sedang terhadap bunga-bunga bewarna hijau kebiruan dan kelabu serangga tersebut tidak bereaksi. Pada saat bertelur, hanya kupu-kupu betina saja yang memperlihatkan preferensi terhadap warna hijau maupun hijau kebiruan dan kelabu serangga tersebut tidak bereaksi. Pada saat bertelur, hanya kupu-kupu betina saja yang memperlihatkan preferensi terhadap warna hijau maupun hijau kebiruan dan tidak mempedulikan sama sekali pada warna kuning dan biru. Ngengat *Dailephila* dalam lingkungan campuran bunga bewarna kuning sampai hijau dapat memilih bunga-bunga yang menjadi kesukaannya dan mengandung makanan baginya yakni bunga-bunga bewarna biru-ungu-merah-marun. Diwaktu-waktu senjapun, ngengat-ngengat tersebut masih dapat membedakan warna-warna tersebut. Demikian pula halnya dengan ngengat *Macroglossa* dalam memilih warna-warna bunga sebagai makanan. Serangga tersebut memilih warna bunga biru, sedang ngengat betina pada saat bertelur tertarik pada warna bunga kuning hingga hijau. Gejala preferensi serangga terhadap warna atau cahaya bewarna, berbeda-beda dan tergantung pada stadium perkembangannya atau umur.

Jenis-jenis serangga diurnal, dapat menggunakan perubahan-perubahan sel-sel pigmen retina untuk menyesuaikan dengan kuat-lemahnya cahaya. Gejala perubahan sel-sel pigmen retina pada ngengat-ngengat Geometridae dan Noctuidae terjadi sejam sebelum

matahari terbenam dam sejam sebelum matahari terbit. Perubahan-perubahan semacam ini tidak terpengaruh sama sekali oleh panjang-pendeknya fotoperiodesitas maupun factor-faktor lingkungan lainnya.

b. Pengaruh Cahaya pada Aktivitas Serangga

Sebagian besar jenis-jenis ngengat mulai mengadakan aktivitasnya pada waktu senja atau berkopulasi diwaktu-waktu malam gelap ditempat-tempat tersembunyi. Kebiasaan Noctuidae adalah mengadakan aktivitasnya pada malam-malam gelap tak berbulan, sebaliknya pada malam-malam terang bulan aktivitasnya ngengat-ngengat tersebut menurun dan jauh berkurang. Hasil penangkapan ngengat Noctuidae selama bulan-bulan 5 – 10 melalui lampu perangkap (light-trap) yang dilakukan oleh Williams selama 5 tahun (1933 – 1937) sangat dipengaruhi oleh ada tidaknya cahaya bulan pada malam hari. Frekuensi hasil tangkapan yang tinggi terjadi pada malam-malam tak berbulan hingga malam-malam menjelang terang bulan. Hasil tangkapan ngengat Pyralidae pada lampu perangkap menunjukkan keluarnya ngengat-ngengat betina umumnya lebih pagi dari pada yang jantan. Puncak hasil tangkapan ngengat betina terjadi disekitar pukul 19.00 – 21.00 (6 – 9 malam), bagi yang jantan disekitar pukul 9 – 11.

Kupu-kupu dan serangga diurnal lainnya memperlihatkan beda derajat aktivitasnya menurut keadaam cuaca yang gelap, berawan atau terang dan sebagainya. Preferensi jenis kupu-kupu terhadap cahaya mempunyai hubungan erat dengan kondisi lingkungannya. Jenis-jenis yang hidup dipadang rumput dan hutan-hutan yang luas, sangat menyukai cahaya terang. Misalnya kupu-kupu *Papilio* spec., *Colias* spec., *Agrimus* spec. dan sebagainya. Biasanya kupu-kupu tersebut aktif pada saat sinar matahari yang terkuat dan aktivitas ini memuncak pada waktu lohor. Pada cuaca yang berawan, sekalipun hanya bersifat sementara, kupu-kupu tersebut akan berhenti terbang. Jenis kupu-kupu yang biasa hidup didalam hutan-hutan lebat seperti *Neptis* spec., *Parages* spec. dan sebagainy, akan bersembunyi menghindari radiasi langsung. Jenis-jenis ini cenderung memilih cahaya-cahaya pancar (difus). Oleh sebab itu, aktivitas kupu-kupu umumnya terlihat diwaktu-waktu senja dimana matahari berada dalam posisi miring seberalah barat. Derajat aktivitasnya tidak terpengaruh oleh keadaan awan sedangkan berhentinya aktivitas tersebut agak malam. Jenis kupu-kupu yang gemar akan cahaya kuat berpindah daerah atau tempat aktivitasnya menurut letak pancaran sinar. Sedang jenis yang biasa hidup didalam hutan-

hutan, seringkali terbang ketempat-tempat yang telah ditingkatkan oleh jenis-jenis tersebut sebelumnya setelah matahari terbenam.

Betina-betina ngengat *Porthetria dispar* L. melangsungkan kopulasi dan beterbangan dalam kondisi temperature 18^0C keatas dan intensitas cahaya hutan 180 – 490 lumen. Kumbang kentang *Leptinotarsa decemlineata* say adalah jenis serangga yang kurang biasa hidup dibawah cahaya kuat. Didalam kondisi hidup tertentu, banyaknya makanan yang diambil oleh seekor kumbang jantan tersebut mencakup lebih kurang 1,70 inci persegi muka daun, bagi yang betina 1,44 inci persegi selama 24 jam. Tapi pada tempat-tempat dengan kondisi berawan penuh, banyaknya makanan yang diambil mencakup luasan daun sebesar 2,37 inci persegi.

Lebah madu adalah jenis serangga yang suka akan cahaya kuat. Dalam kondisi cahaya cerah tapi temperatur rendah, seringkali lebah-lebah tersebut akan terpikat keluar dari sarang-sarangnya, namun akibatnya mereka akan menemui ajalnya dilapangan karena mereka tidak tahan akan temperature yang rendah. Dalam musim-musim kemarau dengan cuaca yang cerah, lebah madu sangat aktif dan mereka akan segera kembali kesarang-sarangnya apabila langit mulai berawan. Ma (1950) melaporkan hasil penelitian pengaruh temperatur dan waktu penyinaran matahari terhadap aktivitas serangga. Lebah yang disinari matahari pada pukul-pukul 6 – 12 menunjukkan aktivitas yang meningkat menjelang lohor dan menurun setelah matahari berbalik kearah barat walaupun temperatur masih meningkat terus hingga pukul 16, saat mana sarangnya tidak lagi disinari oleh matahari. Hal yang sebaliknya terjadi pada sarang-sarang tawon yang disinari matahari pada pukul-pukul 12 – 18, puncak aktivitasnya terdapat pada jam 16, dimana temperatur meningkat tinggi dan cahaya penuh.

Penentuan arah tempat menetap suatu serangga berbeda menurut jenisnya dan erat hubungannya dengan stadium perkembangan serta kondisi tubuhnya (seperti kelaparan dan sebagainya). Arah tempat menetap ngengat *Hyphantrix textor* Harr. sangat ditentukan oleh temperatur tubuhnya. Jika temperatur tubuh berada dibawah 30^0C, maka secara perlahan ulat serangga tersebut akan merayap keatas kearah mengarah kepada cahaya, sampai punggung ulat tersebut mencapai temperatur sekurang-kurangnya 31^0C. Didalam temperatur ruang, setiap stadium larva selalu mengarah kepada sumber cahaya, sedang

instar larva muda bergerak agak lebih lamban daripada instar tua. Pengaruh-pengaruh cahaya terhadap serangga, seringkali berhubungan erat dengan temperatur lingkungannya.

c. Pengaruh Cahaya pada Pertumbuhan dan Perkembangan Serangga

Pertumbuhan setiap jenis serangga mempunyai kisaran cahaya tertentu. Suatu perubahan yang terjadi pada cahaya yang menyinarinya besar pengaruhnya pada kecepatan tumbuh dan berkembang suatu serangga. Misalnya larva lalat *Calliphora* spec. yang dipelihara dibawah cahaya lampu listrik yang kuat, maka stadiumnya akan mengalami perbedaan 7 hari. Perkembangan telur-telur *Dytiscus marginales* L. didalam kondisi gelap mengalami penundaan 8 hari dibandingkan dengan keadaan normal.

Penyinaran dengan warna yang berbeda dapat pula mempengaruhi perkembangan besar kecilnya tubuh serangga. Telur-telur lalat buah dibawah sinar ungu akan menghasilkan larva-larva yang berukuran besar. Dibawah cahaya ungu, larva yang dihasilkan agak kecil. Warna ungu, biru, merah, kuning, putih dan hijau berturut-turut menimbulkan efek-efek yang makin berkurang. Dibawah cahaya ungu, larva yang dihasilkan adalah 3 kali lebih besar daripada cahaya hijau. Tapi efek cahaya-cahaya merah, hijau, kuning, dan putih, keempat warna pada bentuk maupun warna tubuh belalang kembara Locusta spec. tidak tampak jelas. Hal ini mungkin disebabkan karena kekuatan cahayanya kurang cukup.

Intensitas cahaya adalah factor pengendali perubahan warna tubuh serangga yang terpenting. Gelap-terangnya warna pupa kupu-kupu *Vanessa* spec. dan *Pieris* spec. berbeda menurut kondisi lingkungannya. Gelap terangnya warna pupa Pieris spec. menentukan besar kecilnya kandungan pigmen hitam dan putih didalam badannya. Pembentukan zat-zat pigmen ini terjadi pada saat larva memasuki stadium prepupa dan sangat dipengaruhi oleh cahaya lingkungan dimana ia berada. Apabila selama stadium tersebut disinari dengan cahaya bewarna hijau kekuningan, teristemewah warna merah jingga (orange), maka pembentukan pigmen hitam akan tertekan, warna pupanya akan menjadi hijau polos. Pigmen yang didapat dari akibat penyinaran tersebut akan diturunkan atau diwariskan. Apabila pada generasi berikutnya dikembalikan pada cahaya normal, maka pupa yang telah terbentuk tetap mempertahankan warna polos. Sinar ultraviolet meningkatkan pembentukan pigmen hitam. Sinar inframerah bertindak sebaliknya. Kupu-

kupu Vanessa dibawah pengaruh cahaya inframerah akan mengalami penghambatan dalam pembentukan pigmen hitam hingga pupa yang dihasilkan bewarna putih.

Panjang waktu penyinaran mempengaruhi juga timbulnya serangga kutu-kutu daun Aphis spec. Kutu-kutu tersebut dengan waktu penyinaran yang meningkat secara bertahap dan penyinarannya berlangsung secara continue, akan melahirkan keturunan (partenogensis) yang tak bersayap. Apabila waktu penyinaran dipersingkat dan sudut penyinaran diperkecil (dari mulai besar), maka progeny yang dihasilkan terdiri dari individu-individu bersayap. Dengsn demikian dimungkinkan mereka terbang berpindah ketempat yang lain yang lebih memenuhi syarat.

Penyinaran juga berpengaruh pada masa diapause serangga. Serangga-serangga *Dendrolimus pini, Pieris brassicae, Antheraea pernyi, Laspeyresia molesta, Vanessa levana, V. prorsa* dan sebagainya, umumnya tidak mengalami diapause apabila disinari dalam waktu yang lama. Sebaliknya dibawah penggelapan secara continue dan dalam waktu yang cukup panjang akan mengalami diapause. Ulat sutera *Bombyx mori* dibawah penyinaran yang lama akan menghasilkan generasi berikutnya yang sebagian besar akan melewatkan masa diapause. Panjang atau pendeknya masa berdiapause suatu serangga juga dipengaruhi oleh cahaya penyinaran, tapi kerapkali tergantung pada temperatur lingkungan.

5. Angin dan Gerak Udara

Angin merupakan gerak masa udara secara horizontal yang berasal dari daerah bertekanan udara tinggi kearah daerah berekanan udara rendah. Sebab utama dari gerak udara ini umumnya adalah karena adanya perbedaan temperatur pada kedua tempat dan oleh karenanya terjadi perbedaan tekanan. Besar kecilnya kekuatan angin mengikuti tinggi rendahnya tekanan udara ditempat tersebut. Jadi angin adalah suatu gerakan yang udara yang terjadi akibat perbedaan tekanan udara. Oleh karenanya, makin besar perbedaan tekanan udara dikedua tempat tersebut, pada suatu saat, makin besar pula pulalah selisihnya dan makin kuat alirannya.

Untuk mengukur kecepatan angin dipakai alat yang disebut “Anemometer”, dan alat ini terdiri dari empat mangkuk berpalang. Alat pencatat angin yang bekerja secara otomatis disebut ”anemograf”’. Kecepatan angin dinyatakan dalam jarak (meter, kilometer, atau mile) yang dicapai dalam tiap satuan waktu (detik atau jam). Arah angin

diukur dan dinyatakan dengan "perbedaan angin" yang sekaligus menunjukkan arah dan besarnya sudut. Pernyataan arah angin didasarkan pada arah dari mana angin itu datang. Dalam kondisi-kondisi tertentu angin tidak memberi efek langsung pada pertumbuhan maupun perkembangan serangga. Disatu pihak, angin mempengaruhi penguapan dan kelembaban udaranya dan secara tidak langsung memberi efek pada temperatur tubuh serangga maupun kadar air tubuhnya. Kesetimbangan-kesetimbangan dalam hal tertentu akan mengalami gangguan. Dilai pihak, yang terpenting bahwa angin mempengaruhi pemancaran dan aktivitas serangga.

Gerak udara vertical disebabkan karena venomena konveksi akibat pemanasan. Konveksi kerapkali menyebabkan banyak jenis serangga dengan daya terbang lemah dan serangga tak bersayap terbawah keudara dan kemudian turun kembali menyebar kesegalah arah keberbagai tempat. Gerakan ini merupakan suatu tenaga angkat tunggal yang memungkinkan terjadinya aktivitas penyebaran melalui udara sebagai salah satu factor penting. Peristiwa semacam ini dapat dilihat jelas terutama didaerah-daerah pantai. Daerah Brebes terkenal sebagai daerah pertanaman bawang merah yang luas. Angin laut akibat konveksi udara ditempat tersebut datangnya amat kencang (angina kumbang) terutama dimusim kemarau. Angin tersebut ternyata adalah factor penting yang menyebabkan terjadinya penyebaran berbagai jenis serangga hama seperti, gurem, kutu-kutu daun, dan wereng.

Gejala konveksi termasuk gejala yang timbul pada siang hari dan yang terkuat adalah disekitar waktu lohor, bertepatan dengan saat aktivitas serangga-serangga yang paling tinggi. Oleh sebab itu, penyebaran serangga melalui udara yang terbesar terjadi setelah jam-jam tersebut. Ketinggian yang dapat dicapai oleh serangga-serangga tersebut dapat diukur dengan menganalisa sifat-sifat masa udaranya dan tiap-tiap awan yang dicakupinya. Pengaruh kondisi-kondisi iklim mempunyai batas-batas maksimumnya. Jika lapisan teratas dari gumpalan-gumpalan awan yang rendah, lebih rendah daripada 3 km, maka gejala konveksi diatas lapisan tersebut tidak akan terjadi. Awan-awan hujan, badai, dan gumpalan-gumpalan awan yang terbentuk pada sore hari yang basa, jarang dapat mencapai jarak ketinggian 5 km, tapi dalam kondisi-kondisi yang menguntungkan kerapkali juga mencapai jarak ketinggian 7 km. Pada peristiwa tersebut, penyebaran

serangga diudara juga akan mencapai ketinggian yang besar dan daerah penyebarannyapun lebih luas.

Penyebaran serangga-serangga secara horizontal disebabkan karena angin (angin musim dan pasat). Efek daripada angin bagi penyebaran serangga adalah lebih besar daripada konveksi udara. Jarak jangkau yang dapat dicapai lebih jauh. Pengaruh angin terhadap penyebaran serangga secara horizontal berbeda menurut besar-kecilnya tenaga dan sifat daripada angin tersebut. Sebagian angin berkecepatan tinggi seperti angin kencang, angina badai, angin pusar (siklon) dan sebagainya. Pengaruh angin semacam ini besar sekali artinya sebagai alat tranpor utama bagi perpindahan berbagai jenis serangga. Jauh atau dekat jarak yang dapat ditempuh oleh sejenis serangga akibat tiupan angin tergantung pada bentuk dan ukuran tubuhnya. Misalnya, perpindahan nyamuk dan lalat rumah oleh angina dapat mencapai sejauh 16 – 105 mil laut, kutu-kutu aphid dan capung dapat dipindahkan sampai 700 – 800 mil darat. Timbulnya ngengat berukuran besar *Erebus spec*. di india timur adalah karena ngengat yang berasal dari Mexico ini dipindahkan oleh angina sejauh jarak 100 mil inggris, juga ngengat tersebut telah mencapai daratan Kanada.

Angin tetap disuatu daerah merupakan suatu media atau alat transport bagi penyebaran suatu jenis serangga tertentu kesuatu arah tertentu dan secara continue. Misalnya Wereng kacang-kacangan *Empoasca fabae* yang terdapat di Amerika Serikat melewatkan masa hibernasinya dibagian selatan, mereka berbiak dengan cepat ditempat ini. Pada musim semi, populasi wereng tersebut telah jauh meningkat ditempat tersebut, tapi karena terbawah oleh angin, serangga tersebut sebagian berpindah kebagian tengah bahkan sampai kebagian tengah bahkan sampai kebagian utara Negara tersebut maupun Negara tetangganya. Oleh karena itu, timbulnya hama wereng kacang disebelah utara adalah sebenarnya berasal dari selatan. Disebelah utara, serangga ini akan melewatkan hibernasi pada musim dingin berikutnya, tapi karena temperatur ditempat tersebut jauh lebih rendah dan ganas, maka telurnya akan mati. Kembali pada musim semi yang akan datang, datang rombongan baru dari utara.

Banyak diantara jenis-jenis serangga yang dapat terbang, termasuk serangga dengan daya terbang kuat seperti dari ordo-ordo Hymenoptera, Diptera, Lepidoptera, Coleoptera, Orthoptera, Odonata, dan sebagainya, umunya terbang pada cuaca-cuaca cerah tanpa

angina atau dengan angin sepoi-sepoi. Jika kecepatan angin melampaui 15 km per jam, aktivitas terbang semua jenis serangga akan berhenti. Laju terbang serangga naik-turun menguikuti gelombang angin, sedang besar-kecilnya tergantung pada intensitas dan fluktuasi angin.

Pertanyaan:

1. Sebutkan dan jelaskan unsur-unsur iklim yang mempengaruhi kehidupan serangga.
2. Bagaimana peranan temperature dan kelembapan udara pada aktifitas serangga.
3. Jaelaskan pengaruh curah hujan dan angin pada populasi serangga.

BAB VII
POPULASI SERANGGA

Sorer dan Usinger (1957) mendefenisikan epopulasi sebagai segenap anggota kelompok hewan, serangga atau tanaman dari suatu jenis spesies yang berdomisili didalam suatu ruang atau lingkungan hidup tertentu, secara kolektif merupakan suatu populasi. Kelompok-kelompok tersebut mempunyai berbagai ciri yang unik dan bukan merupakan ciri khas daripada setiap individu didalam kelompoknya. Beberapa dari ciri tersebut antara lain adalah: padat, mortalitas, distribusi umur, potensi biotik, dispersi dan corak pertumbuhannya. Menurut Tarumingkeng (1992) populasi adalah sehimpunan individu atau kelompok individu suatu jenis mahkluk hidup yang tergolong dalam suatu spesies (atau kelompok lain yang dapat melangsungkan interaksi genetik dengan jenis yang bersangkutan), dan pada suatu waktu tertentu menghuni suatu wilayah atau tata ruang tertentu. Adapun sifat-sifat khas yang dimiliki oleh suatu populasi adalah kerapatan (densitas), laju kelahiran (natalitas), laju kematian (mortalitas), sebaran (distribusi) umur, potensi biotik, sifat genetic, perilaku dan pemencaran (dispersi).

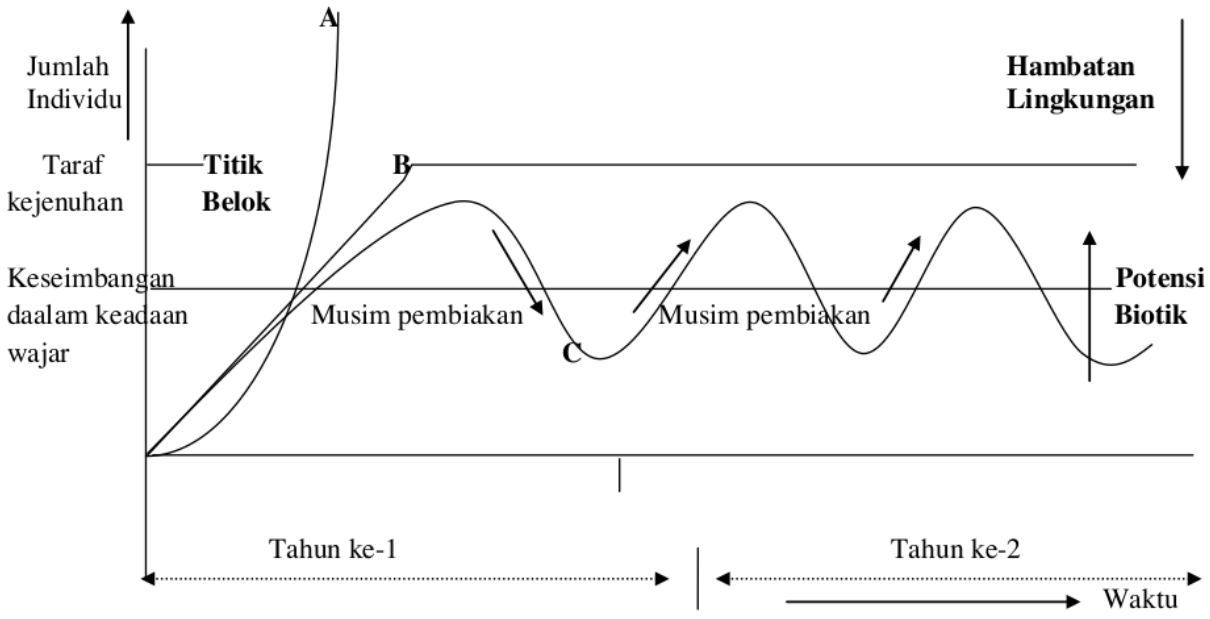
Populasi lazimnya dinyatakan dalam "padat populasi" atau *population density* yang menggambarkan besarnya populasi itu dalam hubungan dengan unit ruang. Misalnya : jumlah sejenis pohon didalam satuan hectare (200 pohon per ha), jumlah individu spesies serangga didalam satuan areal (100 ekor/imago per meter persegi), jumlah individu spesies serangga didalam satuan volume air (100 jentik nyamuk per liter air), jumlah individu spesies serangga didalam satuan pohon atau rumpun tanaman (100 imago per 10 pohon atau rumpun). Padat populasi setiap jenis serangga selalu tidak tetap, dapat berubah-berubah setiap saat, sejalan dengan perubahan keadaan lingkungan dimana ia hidup. Perubahan tersebut tidak hanya terbatas pada besarnya populasi, melainkan juga terjadi dalam komposisi jenis kelamin dan kelompok usia atau umurnya. Misalnya suatu populasi sejenis serangga pada saat dan kondisi lingkungan tertentu terdiri dari: 30 persen jantan, 30 persen betina, 30 persen larva, dan 10 persen telur. Pada saat lain, komposisi ini berubah menjadi: 40 persen, 30 persen, 25 persen dan 5 persen. Perubahan-perubahan komposisi populasi berbagai spesies juga terjadi setiap saat didalam suatu "komunitas". Umumnya pada saat-saat menjelang berakhirnya musim hujan, persentase telur dalam suatu populasi

serangga tanpa agak tinggi, sedangkan pada awal musim kemarau persentase larva sangat meningkat (sekitar bulan-bulan April dan Mei). Keadaan-keadaan semacam ini juga sangat tergantung pada cara hidup, biologi dan frekuensi berbiak dari sarangnya. Juga factor-faktor lingkungan terutama keadaan iklim dan makanan sangat menentukan.

1. Pertumbuhan Populasi dan Tabel Hidup

a. Pertumbuhan Populasi

Suatu populasi dapat bertambah atau berkurang menurut waktu dan keadaan lingkungan. Kecenderungan daripada keadaan lingkungan tersebut dapat diwujudkan dalam bentuk suatu kurva. Caranya dengan memetakan "waktu" pada sumbu-X atau abicissa dan "jumlah individu organisme" pada sumbu-Y atau ordinat. Kurva yang didapat dinamakan "Kurva Kecepatan Tumbuh Populasi". Kurva kecepatan tumbuh populasi suatu serangga memiliki haluan yang khas dan berbeda menurut jenisnya. Kurva-kurva semacam ini tidak hanya memperlihatkan suatu cara meringkaskan fenomena waktu, tapi juga tipe daripada kurvanya dapat memberikan gambaran-gambaran tentang proses-proses pengendalian perubahan populasi yang bekerja didalamnya. Tipe-tipe proses tertentu menghasilkan tipe-tipe khas daripada kurva-kurva populasi (gambar 11).



Gambar 11. Berbagai Haluan Kurva Kecepatan Tumbuh Populasi Didalam Keadaan Ideal Maupun Wajar (Menurut Storer dan Usinger, 1957).

Keterangan : A = Kurva potensi biotis, mengikuti bentukj kurva eksponensial, keadaan lingkungan serba ideal

B = Haluan kurva sigmoid/logistic (teoritis) dalam keadaan lingkungan jenuh. Populasi seolah-olah mantap dan konstan dengan lingkungan yang serba konstan

C = Kurva populasi wajar dengan fluktasi menurut musim (dibawah hambatan lingkungan).

Potensi kecepatan tumbuh suatu populasi atau disebut juga "Potensi Biotik" bagi setiap jenis serangga adalah amat besar. Dimisalkan kondisi lingkungan suatu populasi tidak terbatas seperti ruang dan makanan berlimpah, sehingga menyebabkan tumbuh populasi berlangsung secara eksponensial yaitu pertambahan jumlah individu dalam populasi berlipat ganda secara terus menerus (Kurva A). Pertumbuhan populasi yang bertambah dengan suatu factor tetap per unit waktu akan menghasilkan bentuk pertumbuhan geometric atau exponensial yang dirumuskan oleh Malthus sesuai persamaan sebagai berikut:

$$N_t = N_0 e^{rt} \text{ atau } \frac{dN}{Dt} = rN$$

Dimana : N_0 = Besarnya populasi serangga pada waktu t_0 atau besarnya populasi mula-mula/populasi awal

Nt = Besarnya populasi serangga pada waktu t

t = Waktu atau saat tertentu terhitung mulai dari t_0

e = Dasar logaritma natural

r = Suatu konstante atau kecepatan intrinsic dari pertumbuhan populasi secara wajar

Karena serangga memiliki potensi biotik sangat besar menyebabkan pertambahan jumlah individu dalam populasi yang sangat besar pula, sedangkan daya dukung lingkungan yakni ruang dan makanan tetap, sehingga pada suatu saat daya dukung tersebut

tidak dapat lagi menunjang besarnya populasi. Keadaan seperti ini menyebabkan tercapainya titik kejenuhan (carrying capacity) populasi (Kurva B). Pada keadaan tersebut kecepatan tumbuh populasi akan mencapai puncaknya, karena besarnya populasi tidak lagi diimbangi oleh daya dukung lingkungan yang nantinya akan menjadi factor penghambat pertumbuhan populasi selanjutnya. Faktor tersebut ditulis sebagai (K-N)/K, sehingga persamaan pertumbuhan populasi pada lingkungan terbatas mengikuti persamaan yang diturunkan oleh Verhulst-Pearl sebagai berikut:

$$N_t = N_0 \cdot e^r \frac{(K - N)_t}{K} \text{ atau } \frac{dN}{dt} = rN \frac{(K - N)}{K}$$

Dimana : $\frac{(K - N)}{K}$ = Hambatan lingkungan

Pada saat itu, baik ruang dan makanan, maupun lingkungan fisik ataupun non-fisik atau yang biasa disebut "hambatan lingkungan" akan menjadi factor penghambat tumbuh dan berkembangnya populasi serangga, sehingga populasi akan menurun (Kurva C). Demikian selanjutnya, jika keadaan lingkungan kembali membaik, dalam hal ini makanan tersedia kembali, ruang gerak memungkinkan dan factor non-fisik lainnya seperti musuh-musuh alami tidak menjadi penghambat (populasi rendah), maka populasi akan meningkat kembali, demikian seterusnya, sehingga populasi akan selalu berada disekitar garis keseimbangan populasi.

Populasi setiap jenis organisme dalam ekosistem tidak pernah sama dari waktu ke waktu, tetapi naik turun mengikuti atau berkisar sekitar suatu garis asimpot yang dinamakan garis keseimbangan populasi. Secara teoritik perkembangan populasi didalam menurut Alee et al (1955) mengalami 5 tahapan (Gambar 12).

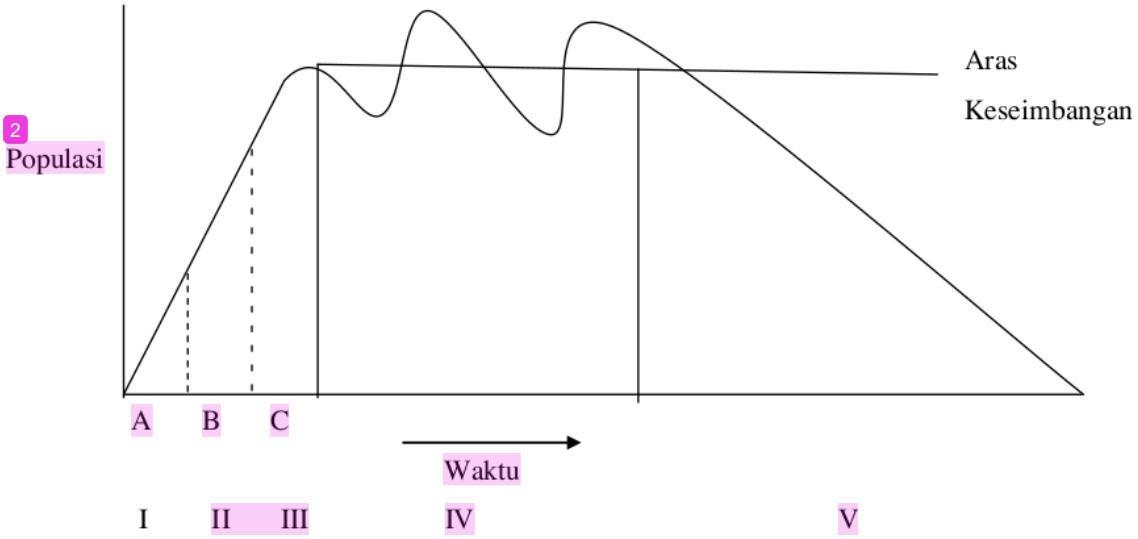
Pada gambar 12 terlihat bahwa pertumbuhan populasi organisme secara teoritik terbagi menjadi 5 tahap sebagai berikut :

Tahap I : Merupakan periode peningkatan populasi yang tumbuh secara sigmoid. Periode ini terdiri dari 3 bagian yakni : tahap pembentukan populasi (A), tahap pertumbuhan cepat secara eksponensial (B), serta tahap menuju kepada keseimbangan (C).

Tahap II : Merupakan tahap pencapaian arus atau letak keseimbangan yang merupakan garis asimpot dari kurva sigmoid. Pada tahap ini populasi telah mencapai stabilitas

numeric. Setelah tahap II tercapai, kemudian populasi bergejolak sekitar arus keseimbangan yaitu pada tahap III.

Tahap III : Pada tahap ini populasi mengalami osilasi dan fluktuasi populasi. Osilasi populasi adalah penyimpangan populasi sekitar arus keseimbangan secara simetris. Sedangkan Fluktuasi populasi adalah merupakan penyimpangan populasi yang tidak simetris. Tahap ini berjalan dalam waktu yang cukup lama bergantung pada berfungsinya mekanisme umpan balik negative yang bekerja pada populasi organisme tersebut.



Gambar 12. Pertumbuhan Populasi Organisme Yang Terbagi Menjadi 5 Tingkatan Menurut Alee et al. (1955)

Tahap IV : Apabila mekanisme umpan balik negative tersebut tidak berfungsi lagi karena sebab-sebab tertentu, maka terjadi penurunan populasi atau populasi akan mengalami pertumbuhan negative.

Tahap V : Jika keadaan ini terus berlanjut maka akan terjadi kepunahan populasi. Hal ini terjadi karena toidak berfungsinya mekanisme umpan balik negtatif dalam jangka waktu yang cukup lama.

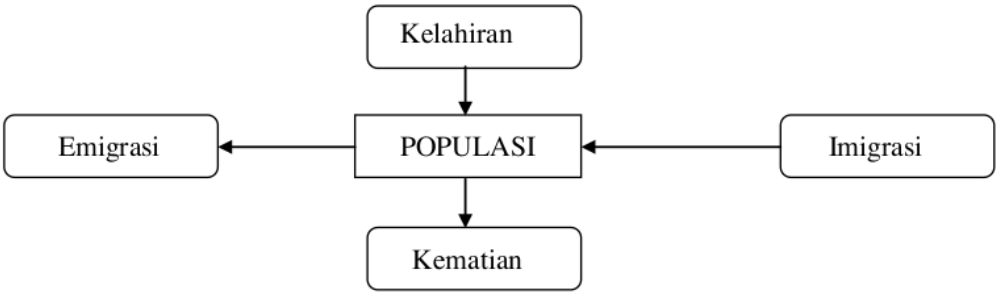
Dalam keadaan sebenarnya perubahan kerapatan yang terjadi dalam suatu populasi disebabkan oleh empat hal yakni : (1) Peningkatan karena kelahiran (natalitas); (2)

Peningkatan karena masuknya beberapa individu sejenis dari populasi lain (imigrasi); (3) Penurunan karena kematian (mortalitas); dan (4) Penurunan karena keluarnya beberapa individu dari populasi, ke populasi lain. Secara skematik pengaruh komponen-komponen tersebut pada populasi dapat diilustrasikan dalam gambar 13.

Untuk menghitung berapa pertumbuhan atau pertambahan besarnya populasi organisme dapat digunakan rumus sederhana sebagai berikut :

$$P2 = P1 + N - M +/- B$$

Dimana : P2 = Populasi akhir
P1 = Populasi awal
N = Natalaitas atau laju kelahiran
M = Mortalitas atau laju kematian
D = Penyebaran atau dispersal yang meliputi penyebaran keluar atau emigrasi (-) dan penyebaran kedalam atau imigrasi (+).



Gambar 13. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Perubahan Kepadatan Populasi Serangga.

Apabila P2 lebih besar P1 maka terjadi pertumbuhan positif, dan sebaliknya jika P2 lebih kecil P1 maka terjadi pertumbuhan negative. Pertumbuhan positif terjadi apabila laju kelahiran dan imigrasi lebih besar dari pada laju kematian dan emigrasi. Dengan rumus tersebut dapat dimengerti bahwa untuk dapat mengurangi populasi hama kita harus meningkatkan laju kematian dan emigrasi serta mengurangi laju kelahiran imigrasi dengan berbagai masukan pengelolaan.

b. Tabel Hidup (*Life Tabel*)

Salah satu cara untuk memperoleh pengertian yang baik tentang dinamika populasi serangga adalah dengan membuat tabel kehidupan atau dalam bahasa inggris disebut *Life Table*. Dengan table tersebut kita dapat mengetahui berbagai faktor mortalitas (abiotik dan biotik) yang mempengaruhi perkembangan populasi hama, termasuk serangga hama. Berdasarkan pada tabel hidup kima mampu mengatahui dan menentukan faktor-faktor mortalitas apa saja yang dapat mempengaruhi perkembangan kehidupan serangga, baik secara keseluruhan, maupun menurut fase-fase kehidupan. Melalui tabel hidup pula kita dapat meramal perkembangan populasi serangga maupun organisme lain diwaktu yang akan datang. Dengan demikian kita dapat menentukan kapan dan bagaimana cara mengendalikan hama yang efektif.

Sebagian besar mahkluk hidup termasuk serangga tidaklah terbentuk oleh individu-individu yang sama, melainkan terdapat berbagai umur dan kemungkinan besar ukuran tubuhnyapun berbeda-beda sesuai umur. Kebutuhan makan dan ruang setiap individu juga pada umunya berbeda, sesuai umur dan ukuran tubuhnya. Telur-telur yang dihasilkan seekor serangga betina untuk beberapa waktu (selama stadium telur) belum banyak berpengaruh pada populasinya karena telur tidak bergerak, tidak makan dan tidak pula berkembang biak. Individu-individu populasi pada tahap perkembangan selanjutnya yaitu stadium larva (holometabola) dan nimfa (hemimatabola) individu-individu tersebut dalam populasi biasanya makan lebih banyak dan mungkin pula lebih aktif bergerak mencari makan dibandingkan dengan dewasa, tetapi individu pada stadium ini belum berkembang biak. Masa untuk reproduksi berlangsung pada stadium imago (dewasa) dan umumnya pada berbagai jenis serangga hanya berlangsung singkat.

Untuk mengembangkan model-model perkembangan populasi yang lebih realistik yaitu berdasarkan keadaan populasi yang sebenarnya, perlu diamati perkembangan populasi tersebut dengan mengumpulkan data kerapatan populasi atau jumlah individu (N) dalam populasi unutk waktu (t) tertentu. Pengamatan demikian akan mencakup berbagai umur yang dibagi dalam selang tertent. Hasil pengamatan dicatat dalam sebuah tabel yang dalam kajian dinamika populasi tersebut disebut 'neraca kehidupan' atau 'tabel hidup' (*life table*). Dari tabel hidup tersebut dapat dikalkulasikan berbagai nilai statistic yang merupakan informasi populasi seperti kelahiran (natalitas), kematian Ɛ(mortalitas), dan

peluang untuk berkembang biak (survivalship). Dengan data pengamatan serta statistic yang diturunkan dari data tersebut dapatlah dilakukan aproksimaso untuk berbagai parameter perilaku perkembangan populasi.

Pada tabel kehidupan ada beberapa notasi yang harus dipahami untuk menyusun suatu tabel kehidupan suatu jenis serangga. Notasi-notasi dimaksud antara lain :

x = Interval umur

a_x = Banyaknya individu populasi yang hidup pada setiap umur pengamatan atau peluang hidup (survivalship)

l_x = Jumlah individu yang hidup pada permulaan interval umur x

$l_x = a_x/a_o$ (1000), distandarkan

d_x = Jumlah individu yang mati selama interval umur x (kelompok umur x) (Mortalitas)

$d_x = l_x - l_{x+1}$

q_x = Proporsi individu yang mati pada KU x, terhadap jumlah individu yang hidup pada KU x (persen (%) mortalitas pada interval umur x = 100 q_x) ; $q_x = d_x/l_x$

L_x = Jumlah rata-rata individu pada KU x, terhadap jumlah individu yang hidup padak elompok umur x ; $L_x = (l_x - l_{x+1})/2$

Tx = Jumlah individu yang hidup pada KU x = 0 …w (x = w adalah kelas umur terakhir)

$Tx = \sum_{n-x}^{w} Lx$. $T0 = \sum_{n-0}^{w} Lx$. $T_1 = T_0 - L_0$. $T_2 = T_1 - T_2$. $T_x = T_{x-1} - L_{x-1}$

Tx adalah diperlukan untuk kalkulasi harapan hidup pada masing-masing umur (e_x).

e_x = harapan hidup individu pada setiap KU x.

$e_x = T_x/I_x$

m_x =keperidian spesifik individu-individu pada KU x, atau jumlah anak (betina) per kapita yang lahir pada KU x.

R_o = laju reproduksi neto adalah rataan banyaknya anak yang dilahirkan oleh semua individu sepanjang generasi cohort.

P_x = laju survival, yaitu proporsi individu yang hidup pada KU x, dan mencapai $KU_{(x+1)}$

$$P_x = \frac{Lx+1}{Lx} = \frac{lx+1+lx+2}{lx+lx+1} = 1 - q_x$$

Untuk memberikan ilustrasi mengenai penyusunan tabel kehidupan, akan diberikan contoh mengenai populasi nyamuk. Misalnya dari lapangan dikumpulkan 500 butir telur nyamuk, kemudian dipelihara dalam bak air dan diamati setiap hari. Ke 500 butir telur disebut merupakan populasi yang terdiri dari satu gugus individu yang dianggap berasal

dari kelas umur yang sama (cohort). Cohort telur nyamuk dalam percobaan tersebut dianggap sebagai satu populasi dan hasil pengamatan seperti tercantum dalam tabel 10.

Tabel 10. Data Pengamatan Cohort Nyamuk.

(1) X (Pengamatan hari ke)	(2) a_x Jumlah individu yang hidup)
0	500
1	480
2	450
3	450
4	420
5	310
6	200
7	180
8	150
9	25
10	0

Tabel 11. Data Cohor Nyamuk (perluasan table 10).

(1) x Pengamatan hari ke..	(2) l_x Distandarkan sehingga No = 1000	(3) d_x Jumlah individu yang mati	(4) q_x Proporsi individu yang mati
0	1000	40	0,04
1	960	60	0,06
2	900	0	0
3	900	60	0,07
4	840	220	0,26
5	620	220	0,36

6	400	40	0,10
7	360	60	0,17
8	300	250	0,83
9	50	50	1,00
10	0	0	0

Tabel 12. Tabel Kehidupan Kohor Nyamuk

1 Umur (x)	2 l_x	3 d_x	4 q_x	5 L_x	6 T_x	7 e_x	8 m_x	9 $l_x m_x$	10 $x\ l_x m_x$
0	1000	40	0,04	980	5830	5,83	0	0	0
1	960	60	0,06	930	4850	5,05	0	0	0
2	900	0	0	900	3920	4,36	0	0	0
3	900	60	0,07	870	3020	3,36	0	0	0
4	840	220	0,26	730	2150	2,55	0	0	0
5	620	220	0,36	510	1420	2,29	0	0	0
6	400	40	0,10	380	910	2,28	8	3200	19200
7	360	60	0,17	330	530	1,47	2	720	5040
8	300	250	0,83	175	200	0,67	2	600	4810
9	50	50	1,00	25	25	0,50	1	50	450
10	0	0	0	-	-	-	-	-	0
Jumlah				5830				4570	29490

Pada table diatas dapat diketahui R_o (Laju Pertumbuhan Neto) dengan rumus :

$$R_o = \sum m_x l_x = 4570$$

Asumsi yang dapat diambil bagi tabel kehidupan contoh ini adalah bahwa cohort nyamuk terdiri atas individu-individu betina dan jantan yang nisbak kelaminnya sama, dan semua telur yang dihasilkan memberikan nisbah kelamin yang sama pula. Untuk keperluan nanti dapat pula ditambahkan *laju survival* (Px) yaitu proporsi individu yang hidup pada KU x, dan mencapai KU (X+1).

$$P_x = \frac{L_{x+1}}{L_x} = \frac{l_{x+1} + l_{x+2}}{l_x + l_{x+1}} = 1 - q_x$$

Contoh : $P_4 = 540/730 = 620 + 400 / 840 + 620 = 1 - 0{,}26 = 0{,}74.$

Contoh sederhana adalah table kehidupan hama *Choristoneura fumiferana* yang menyerang pohon pinus di Canada dqpat diikuti pada table 13.

Tabel 13. Tabel Kehidupan Hama *Choristoneura fumiferana* pada Pohon Pinus.

x	lx	dx	dxF	100 qx
Telur	200,0	10,0	Pestisida	
		20,0	Lain-lain	15
Larva muda	170,0	136,0	Pencemaran	
Larva akhir	34,0	13,0	Parasitoid	
		6,8	Patogen	
		10,2	Lain-lain	90
Pupa	3,4	0,3	Parasitoid	
		0,5	Lain-lain	25
Imago	2,5	0,5	Macam-macam	20

Dari table tersebut dapat diketahui bahwa sepanjang satu siklus hidup, hama tersebut memiliki mortalitas tertinggi pada fase atau stadium larva muda dan larva stadium akhir. Mortalitas karena musuh alami (parasitoid dan pathogen) paling tinggi terjadi pada stadium larva tua/akhir'

2. Strategi Reproduksi

Strategi suatu spesies dalam persaingan dengan spesies-spesies lain dihabitatnya dan untuk bertahan dilingkungan hidupnya menentukan keberhasilan spesies tersebut untuk mempertahankan suatu tingkat kerapatan populasi tertentu. Proses persaingan itu sendiri merupakan bagian dari proses bagian dari proses ko-evolusi spesiestersebut sehingga strategi spesies merupakan pula arah seleksi spesies tersebut. Dalam literartur ekologi

dikenal seleksi-r dan seleksi-K yang masing-masing dapat diinterpretasikan sebagai *strategi-r* dan *strategi-K*.

Dialam yang serba wajar, diama tekanan lingkungan dapat dikatakan tidak ada, sehingga semua faktor menunjang untuk pertumbuhan dan perkembangan serangga atau organisme lainnya. Dalam keadaaan seperti ini organisme dialam, termasuk serangga tidak memerlukan strategi khusus untuk berkembang atau mempertahankan keturunannya karena semuanya serba tersedia dengan berlimpah, sehingga terjadi perkembangan dan pertumbuhan populasi secara eksponensial, dimana tidak ada hambatan/tekanan dari lingkungan terhadap pertumbuhan dan perkembangan populasi organisme dihabitatnya.

Lain halnya dengan pertumbuhan dan perkembangan populasi dialam yang serba terbatas, baik faktor biotis maupun abiotisnya. Persamaan lotka-Volterra sebagai model persaingan antar-spesies didasarkan atas model pertumbuhan logistik, dimana efaktor lingkungan pada suatu saat menjadi faktor penghambat untuk pertumbuhan populasi organisme dialam. Persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

$dN/Ndt = r (K-N) /K$

Dimana dicirikan oleh dua parameter ayitu ; (1) r = laju pertumbuhan intristuk, dan (2) K =kerapatan populasi (N) pada batas daya dukung.

MacArthur (1972) pencetus konsepsi seleksi-r dan seleksi-K mengemukakan bahwa keberhasilan spesies-spesies untuk berkembang-biak pada waktu sekarang merupakan hasil adaptasi yang berlangsung sekian lama (suatu proses yang berlangsung sepanjang waktu t yang lampau). Dalam rangka mempertahankan eksistensi keturunannya, suatu spesies terus-menerus mengalami mutasi, terutama jika populasi-populasinya dalam rangka persaingan terus-menerus terancam dan menuju kepunahan. Karena suatu spesies memiliki banyak populasi local atau sub-populasi, kepunahan satu atau beberapa populasi local atau pada habitatnya masing-masing belum berarti spesies tersebut telah punah. Ancaman punah akan timbul jika sub-populasi yang masih tersisa kurang mampu untuk berkolonisasi ke habitat baru atau ke habitat yang ditinggalkan oleh populasi local yang telah punah.

Menurut MacArthur dan Wilson (1967, *vide* MacArthur, 1972) menyatakan bahwa jika suatu jenis spesies memiliki genotip dari alel-alel X1 dan X2, maka proses perkembangan kedua populasi yang memiliki genotip seperti itu adalah:

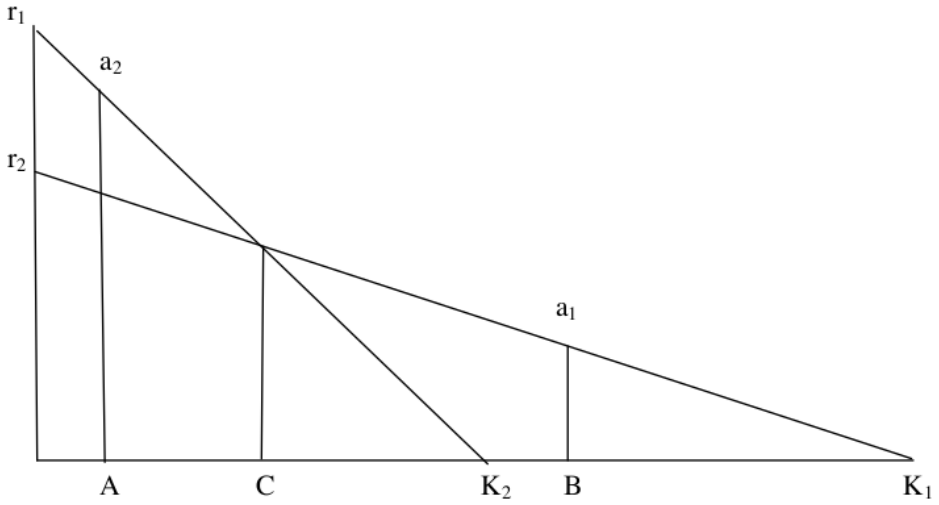
$a_1 = dX_1/X_1dt = r_1(K_1-X_1)$ dan

$a_2 = dX_2/X_1dt = r_2(K_q-X_2)$

Jika a1 > a2 maka X1 mengalahkan X2 dan jika ini berlangsung terus-menerus, X1 akan mendominasi X2. Dari segi genetic populasi dapat diartikan bahwa a1 merupakan *fitness* dari populasi spesies yang bersangkutan, sedangkan dari segi ekologi populasi dapat dinterpretasikan bahwa :

$A_1 = dX_1/X_1dt = r_1(K-X_1)$

Dimana : mulai dari r yang tinggi dengan meningkatnya X_1 menuju ke K_1, a_1 menurun sampai ke 0 (Gambar 14).



Gambar 14. Laju Peningkatan 2 Alel X_1 dan X_2 Sebagai Fungsi Kerapatan Populasi (Menurut MacArthur, 1972)

Keadaan a1 > a2 tidak hanya terjadi pada tingkat kerapatan populasi rendah tetapi dapat pula berlangsung pada kerapatan populasi yang tinggi, sehingga a1 dan a2 tidak tergantung pada kerapatan populasi. Pada titik potong a1 dan a2 terdapat keadaan yang diinterpretasikan sebagai dua populasi masing-masing dengan kedua alel dan pada dua lingkungan yang berbeda, yaitu lingkungan 1 dan 2. Pada lingkungan 2 yang memiliki daya dukung K2 dengan merujuk ketitik A, diatas titik ini a1 < a2 sehingga populasi dengan genotip X2 akan menang (terseleksi). Keadaan ini disebut *seleksi-r*, krena keadaan ini

berada pada pihak intersep sebelah kiri (r1 dan r2) atau dengan ungkapan lain yang menang adalah genotip dengan alel r yang tinggi.

Keadaan dimana persediaan makanan dan kerapatan populasi padae titik B (a1 > a2), alel X1 yang menang dan keadaan ini disebut *seleksi-K* karena berada pada pihak intersep disebelah kanan (K1 dan K2). Seleksi-K dapat berpindah ke seleksi-r jika melewati titik potong gari-garis a1 dan a2.

Teori MacArthur ini menunjukkan bahwa strategi spesies-spesies, baik seleksi-r maupun seleksi-K, bukan merupakan kondisi yang mutlak dan dapat berubah-ubah menurut keadaan lingkungan. Dalam keadaan lingkungan tertentu, populasi spesies berada disekitar lingkungan K sehingga strategi spesies ini adalah strategi-K, sedangkan pada habitat yang lain populasi spesies ini tidak mencapai K, tetapi selalu dalam keadaan kerapatan yang tinggi mendekati r, sehingga pada habitat ini spesies tersebut masuk kategori seleksi-r.

Secara umum spesies-spesies di daerah tropika cendrung pada posisi seleksi-K, sedangkan didaerah kutub (polar) adalah selaksi-r. Vertebrata teresterial cendrung berada pada pihak seleksi-K, sedangkan serangga hama cendrung seleksi-r. Spesies dengan seleksi-r pada umumnya peka terhadap persaingan sehingga kurang dapat bertahan pada keadaan lingkungan dengan persaingan yang tinggi. Diantara entomologiwan terdapat perbedaan pendapat mengenai seleksi-r dan seleksi-K ini, karena sebagian menginterpretasikannya sebagai akibat yang mutlak. Strategi ekologi ini bersifat relative, misalnya jika suatu spesies dengan seleksi-r, maka strategi ini adalah relatif terhadap spesies-spesies lain. Strategi ini diadaptasi oleh spesies tersebut sesuai dengan keadaan lingkungan dari habitatnya. Oleh karena strategi ekologi ini lebih sesuai jika dianggap sebagai sifat spesifik populasi dari spesies, bukan spesifik spesies (Stenseth, 1987).

Dalam hubungan ini MacArthur (1972) mengemukakan : *Populasi dapat saja sebagian waktunya berada pada strategi-r dan sebagian lagi pada strategi-K. Klasifikasi alami ini hanya sebagai salah satu kemungkinan, karena kita dapat pula membagi strategi ekologi dalam seleksi tua dan seleksi muda, seleksi tahan predator, seleksi kemampuan makan dan lain-lain*. Pianka (1970, vide Krebs, 1978) memberikan sifat-sifat seleksi-r dan seleksi-K pada beberapa keadaan/parameter populasi di lingkungan seperti tercantum pada tabel 14.

Disamping strategi-r dan strategi-K, Gill (1974, vide Stenseth, 1978) menambahkan strategi-α, yaitu strategi kemampuan bersaing yang tinggi, sedangkan Grime (1977, vide Stenseth, 1987) mengusulkan pembagian strategi ekologi menjadi tiga strategi sebagai berikut : (1) Strategi-R yakni kelompok organisme yang kemampuan beradaptasi dalam ekosistem yang rusak, seperti ekosistem buatan-buatan manusia; (2) Strategi-C yakni sekelompok organisme yang mempunyai kemampuan beradaptasi dalam lingkungan penuh persaingan, seperti di daerah tropika; dan (3) Strategi S yakni sekelompok organisme yang memiliki kemampuan beradaptasi dalam lingkungan abiotic yang sulit, seperti di daerah kutub, padang pasir dan sebagainya.

Tabel 14. Beberapa Sifat Seleksi-r dan -K Menurut Pianka (1970, vide Krebs, 1978).

SIFAT	STRATEGI-r	STRATEGI-K
1. Iklim	Beragam, tak menentu	Konstan, dapat diramalkan
2. Mortalitas	Masal, tidak terarah	Terarah
3. Kerapatan Populasi	Density independent, sangat brefluktuasi menurut waktu, tidak dalam keseimbangan, tiap tahun berkolonisasi	Density dependent, konstan, dalam keadaan seimbang, tidak berkolonisasi
4. Kominitas	Tidak jenuh	Jenuh
5. Survivalship	Tipe III	Tipe I dan II
6. Kompetisi	Lemah atau tidak ada	Kuat
7. Seleksi mengarak ke-	Perkembangan cepat, reproduksi cepat, reproduksi per generasi tunggal, reproduksi lebih awal	Perkembangan lambat, reproduksi lambat, reproduksi berulang, reproduksi lebih lama
8. Ukuran tubuh	Relatif kecil	Ralatif lebih besar
9. Umur	Pendek, kurang dari 1 tahun	Panjang, lebih dari 1 tahun
10. Strategi	Penekanan pada produktivitas (Kwantitas)	Penekanan pada efisiensi (Kwalitas)

Greensdale (1983, vide Stenseth, 1978) mengemukakan gagasan, disamping strategi-r dan strategi-K, terdapat strategi-A. Yang dimaksud dengan strategi-A adalah strategi untuk beradaptasi pada lingkungan yang tidak menguntungkan. Stenseth (1987) menganggap penggolongan dalam tiga strategi Greensdale ini lebih sesuai (table 15). Dalam hubungan ini, dalam proses seleksi alami suatu species, strategi yang ditempuh tergantung pada 3 hal yakni: (1) Perilaku menurut waktu dan ruang (keramalan atau predictability) komponen-komponen abiotic dari habitat; (2) Keramalan komponen-komponen biotik habitat; dan (3) Kesesuaian (favorability) habitat.

Tabel 15. Sifat-sifat Ekstrim Seleksi-r, seleksi-K, dan Seleksi-A Menurut Greensdale, 1983 (vide Stenseth, 1987).

SIFAT	STRATEGI-r	STRATEGI-K	STRATEGI-A
1. Kesesuaian habitat	beragam	tinggi	rendah
2. Keramalan Habitat (Prediktibilitas)	rendah	tinggi	tinggi
3. Diversitas Komunitas	rendah	tinggi	rendah
4. Persaingan antar spesies	Agak jarang, kadang2 antara dua spesies	Sering, kontinu, kadang-kadang bercampur	jarang
5. Mekanisme Pertahanan	rendah	tinggi	rendah
6. Derajat spesialisasi	rendah	tinggi	rendah
7. Kemampuan Non aktif	beragam	tinggi	beragam
8. Seleksi untuk migrasi	tinggi	sedang	rendah

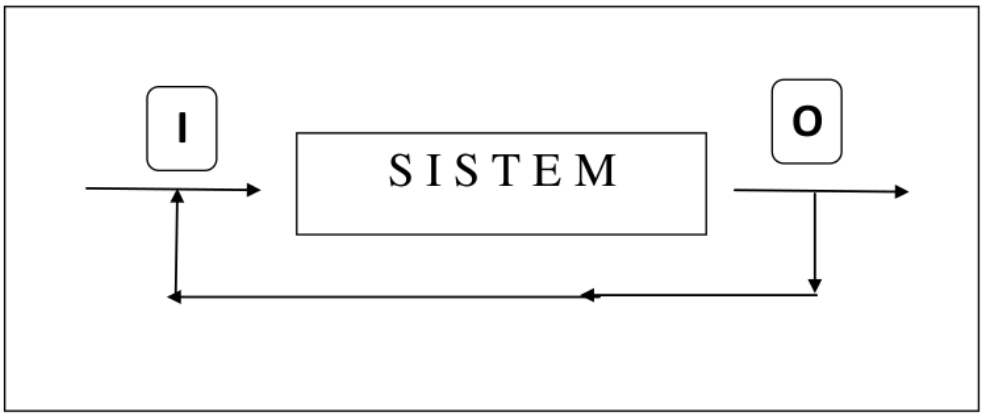
SIFAT	STRATEGI-r	STRATEGI-K	STRATEGI-A
9. Distribusi geografis	luas	terbatas	beragam
10. Seleksi untuk partenogenesis	beragam	rendah	tinggi
11. Lama hidup	singkat	sedang	panjang
12. Maturitas	cepat	sedang	lambat
13. Keperidian	tinggi	sedang	rendah
14. Kerapatan populasi	Sangat beragam	Lebih konstan, dsekat K	Beragam, di bawah K
15. Laju pertumbuhan	tinggi	sedang	rendah
16. Pengaruh terpaut kerapatan	Lemah pada N rendah, berlebihan pada N tinggi	Sedang konpensasi pada N tinggi	lemah
17. Faktor kunci	N imago berkurang karena mortalitas dan migrasi	N pradewasa menurun kare3na perubahan keperidian	Mortalitas pada semua stadium, keperidianj dan laju nperkembangan beragam

3. Dinamika Populasi

Mempelajari dinamika populasi, tidak terlepas dari suatu sistem yang berlaku dialam yang mengatur berlangsungnya proses-proses alamiah dialam yang mengatur proses-proses tersebut selalu menuju pada keseimbangan alamiah yaitu mekanisme umpan balik negative. Mekanisme umpan balik diambil dari istilah ilmu system. Dari sekian banyak system yang dikenal, salah satunya adalah Sistem Sibernetika. Ekosistem merupakan salah satu bentuk system sibernetika. Sistem sibernetika adalah system yang memiliki semacam mekanisme umpan balik untuk mengatur dan mengendalikan ekosistem tersebut. Oleh karena itu seringkali system sibernetika dianggap sebagai suatu bentuk system control yang berfungsi pada sebagian besar system.

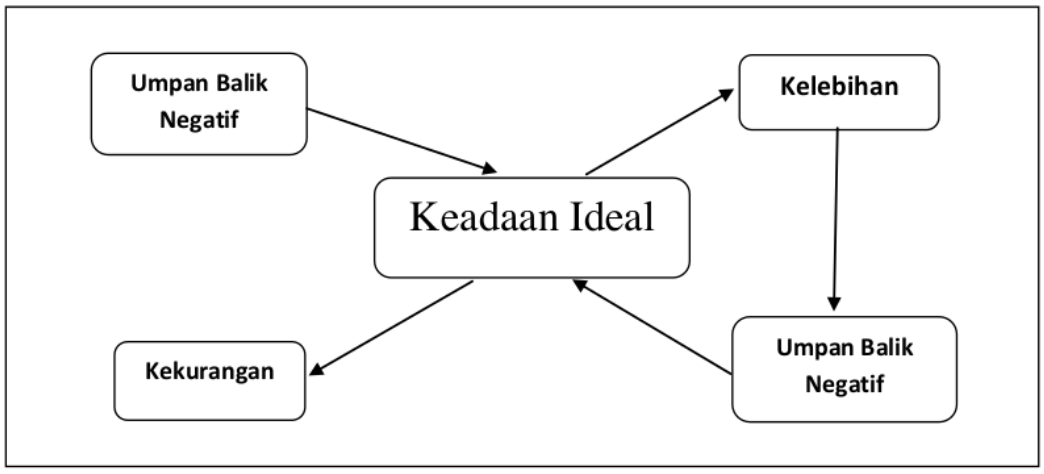
Sistem sibernetika biasanya berusaha mempertahankan dirinya selalu berada pada suatu keadaan ideal atau titik sertek (‘’set point’’) yaitu dengan menggunakan mekanisme umpan balik. Mekanisme umpan balik disini dimaksudkan adalah adanya beberapa keluaran (‘’outputs’’) system dan masukan (‘’inputs’’) system yang dipergunakan untuk

mengendalikan system tersebut dimasa yang akan datang. Secara sederhana biasanya system umpan balik dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar 15).



Gambar 15. Bagan Umum Sistem Umpan Balik.

Mekanisme umpan balik yang hasilnya membawa system menuju ke keadaan ideal adalah mekanisme umpan balik negative, sedangkan mekanisme yang membawa system semakin jauh dari keadaan ideal adalah mekanisme umpan baik positif. Bekerjanya system umpan balik negative tersebut dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Mekanisme Umpan Balik Negatif Dalam Ekosistem.

Berbeda dengan umpan balik negative, maka umpan balik positif akan membawa system semakin menjauh dari keadaan ideal baik kearah positif (atas) maupun kearah negative (bawah). Jika system semakin menjauh dari keadaan ideal, maka system akan mati atau tidak berfungsi lagi. Jadi mekanisme umpan balik negative membawa system selalu dalam keadan yang stabil atau ideal, sedangkan umpan balik positif membawa system menuju ke kerusakan atau kematian.

Kedua proses atau mekanisme umpan balik tersebut dapat bekerja pada system yang sama meskipun hasil akhir nantinya berbeda. Perlu diketahui bahwa setiap system sibernetika mempunyai apa yang disebut ‘’plato atau kisaran homeostatik’’. Plato ini merupakan suatu kisaran keadaan yang merupakan batas berfungsinya mekanisme umpan balik negative. Jadi ada batas atas dan batas bawah. Pada kisaran ini system dapat selalu dijaga agar dapat kembali ke keadaan idealnya. Tetapi apabila system berada diluar kisaran homeostatic, maka yang akan bekerja adalah mekanisme umpan balik positif yang akan membawa system semakin menjauh dari keadaan ideal yang akhirnya akan menuju kepada kematian system.

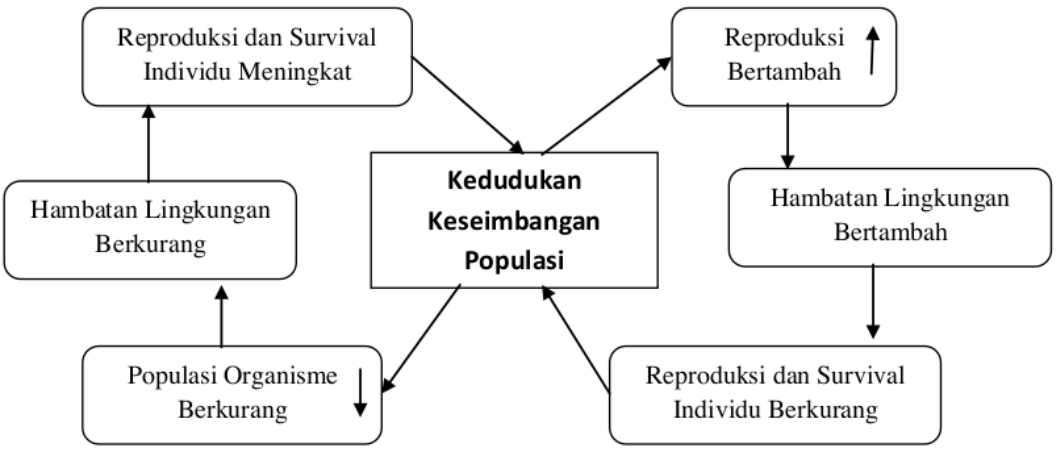
a. Mekanisme Pengendalian Populasi Dalam Ekosistem

Seperti dikemukakan diatas bahwa sebagai lazimnya suatu system, maka ekosistem juga merupakan system sibernetika yang memiliki mekanisme pengendalian yang sangat efisien. Secara umum dapat dikatakan bahwa naik turunnya populasi organisme ditentukan atau tergantung pada dua kekuatan atau factor utama yaitu kemampuan hayati atau potensi biotik dan hambatan lingkungan.

Potensi bitoik merupakan kemampuan organisme untuk berkembang biak dalam kondisi yang optimal. Dalam kondisi ini organisme mampu melipatgandakan jumlahnya secara penuh sesuai dengan kemampuannya. Tanpa ada halangan apapun maka dengan cepat populasi organisme akan meningkat dan secara teoritik akan dapat memenuhi bumi ini dalam waktu yang tidak terlalu lama. Tetapi kenyataannya di alam tidak demikian sebab ada factor penghambat yang kita sebut hambatan lingkungan.

Hambatan lingkungan adalah berbagai factor biotik dan abiotic di ekosistem yang cenderung menurunkan fertilitas dan kelangsungan hidup individu-individu dalam populasi suatu organisme. Hal ini berarti bahwa factor-factor tersebut menghalangi suatu organisme

untuk dapat berkembang sesuai dengan potensi biotiknya. Populasi suatu organisme selalu diusahakan berada pada kedudukan idealnya atau kedudukan keseimbangan (''equilibrium position'') oleh karena mekanisme umpan balik negative yang dilakukan oleh hambatan lingkungan terhadap potensi biotik (Gambar 17).



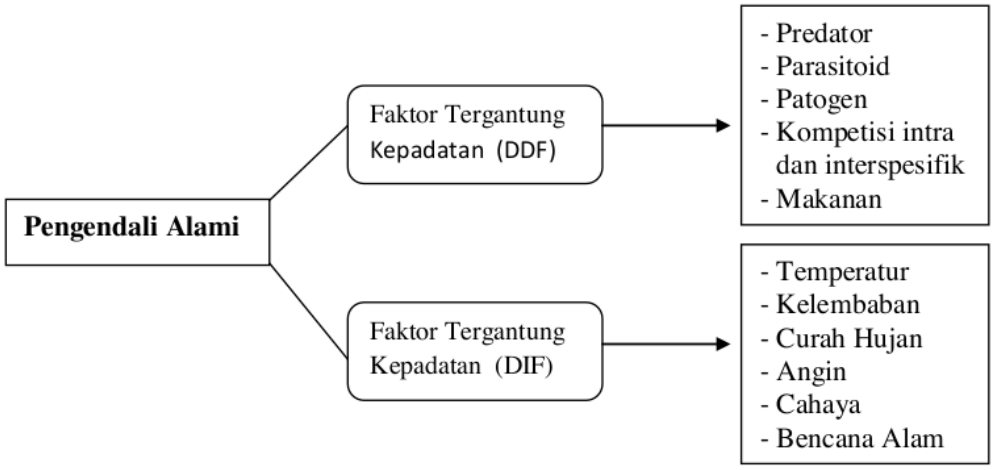
Gambar 17. Mekanisme Umpan Balik Negatif pada Pengendalian Populasi Organisme.

Pada gambar tersebut terlihat bahwa potensi biotik selalu berusaha membawa populasi menjauh dari kedudukan keseimbangan tetapi terhalang oleh bekerjanya factor hambatan lingkungan yang daya tahannya semakin kuat apabila populasi semaki9n meningkat. Sebaliknya apabila populasi organisme oleh sesuatu sebab mengendorkan tekanannya terhadap populasi, sehingga populasi diberi kesempatan untuk meningkat kembali mencapai ke kedudukan keseimbangannya dengan melalui peningkatan reproduksi dan kelangsungan hidup atau ''survival''individu.

Dilihat dari asalnya maka factor hambatan lingkungan dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok yang besar yaitu hambatan lingkungan yang berasal dari dalam populasi disebut ''intrinsic factors'' (factor-faktor intrinstrik) dan hambatan lingkungan yang berasal dari luar populasi disebut ''extrinsic factors'' (factor-faktor ekstrinsik). Faktor-faktor intrinsic misalnya persaingan antar individu atau persaingan intraspesifik dalam bentuk teritorialitas dan tekanan social. Faktor-faktor ekstrinsik dapat terdiri dari

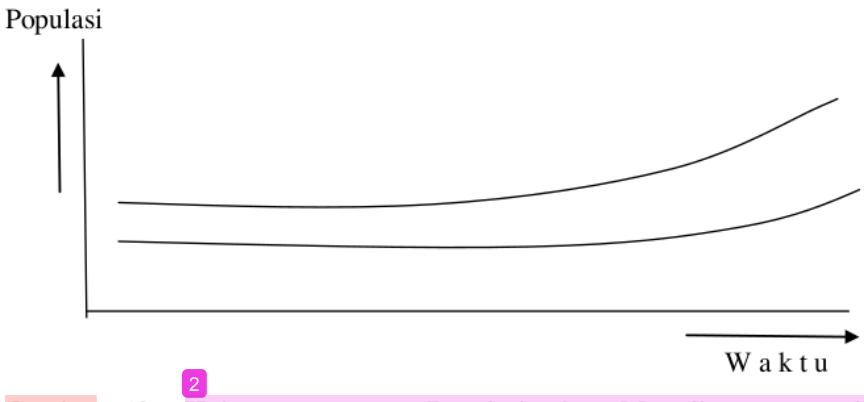
factor biotik seperti makanan, predasi, kompetisi interspesifik, dan lain-lain, dan factor abiotic sperti iklim, tanah, air, dan lain-lain.

Dilihat dari segi proses pengendalian dan pengaturan populasi organisme, maka berbagai factor hambatan lingkungan dapat dikelompokkan yaitu kelompok factor yang pengaruhnya terhadap populasi tergantungt pada kepadatan populasi disebut ''Density Dependt Factors'' (DDF) dan kelompok factor hambatan lingkungan yang pengaruhnya tidak tergantung pada kepadatan populasi disebut ''Density Independent Factors'' (DIF) (Gambar 18).



Gambar 18. Komponen Pengendali Alami Populasi yang Tergantung pada Kepadatan Populasi (DDF) dan Pengendali Alami Populasi yang Bebas/Tidak Tergantung pada Kepadatan Populasi (DIF).

DDF adalah factor pengendali alami yang mempunyai sifat penekanan terhadap populasi organisme yang lebih kuat pada waktu populasi semakin tinggi dan penekanan lebih longgar pada waktu populasi semakin rendah. Kalau kita hubungkan antara mortalitas yang disebabkan oleh factor DDF dengan populasi hama maka kita peroleh regresi seperti pada gambar 19.

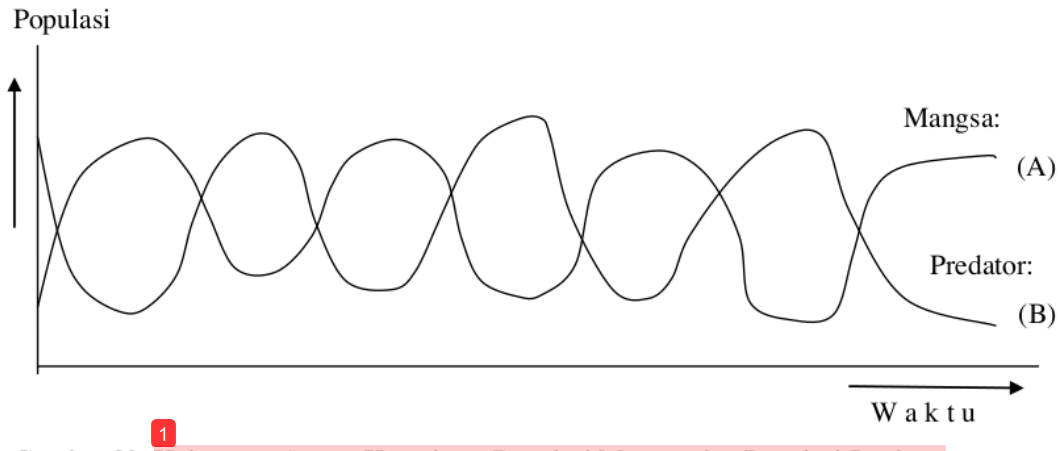


Gambar 19. Hubungan antara Populasi dan Mortalitas yang disebabkan oleh Faktor Tergantung Kepadatan (DDF).

DDF terbagi menjadi factor yang berpengaruh timbal balik dan yang tidak timbal balik. DDF yang timbal balik terutama adalah musuh alami OPT seperti predator, parasitoid, dan pathogen. Timbal balik disini berarti bahwa hubungan antara populasi dan mortalitas oleh DDF dapat berjalan dari kedua arah. Apabila populasi species A meningkat, maka mortalitas yang disebabkan oleh bekerjanya predator akan semakin meningkat.

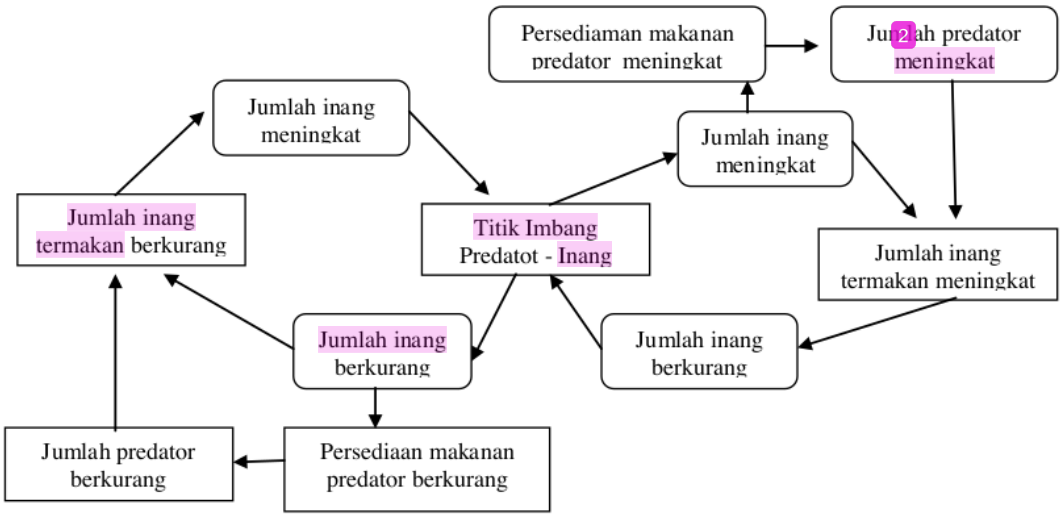
Mortalitas yang disebabkan oleh DDF meningkat sejalan dengan meningkatnya populasi predator. Sebaliknya apabila populasi species A menurun, maka mortalitas dan jumlah predator menurun. Jadi kepadatan populasi species A akan selalu diikuti dengan kepadatan populasi predatornya (Gambar 20).

DDF yang tidak timbal balik misalnya makanan dan ruang yang jumlahnya terbatas yang ditempati oleh organisme yang saling berkompetensi untuk makanan dan ruang yang sama. Proses DDF disini dapat kita mengerti bahwa semakin tinggi populasi A maka persaingan untuk memperoleh makanan dan ruang semakin kuat sehingga mortalitas A semakin tinggi, dan demikian juga sebaliknya. Jadi berbeda dengan kelompok musuh alami, maka makanan, ruang dan territorial termasuk dalam kelompok factor DDF yang tidak timbal balik.



Gambar 20. Hubungan Antara Kepadatan Populasi Mangsa dan Populasi Predator.

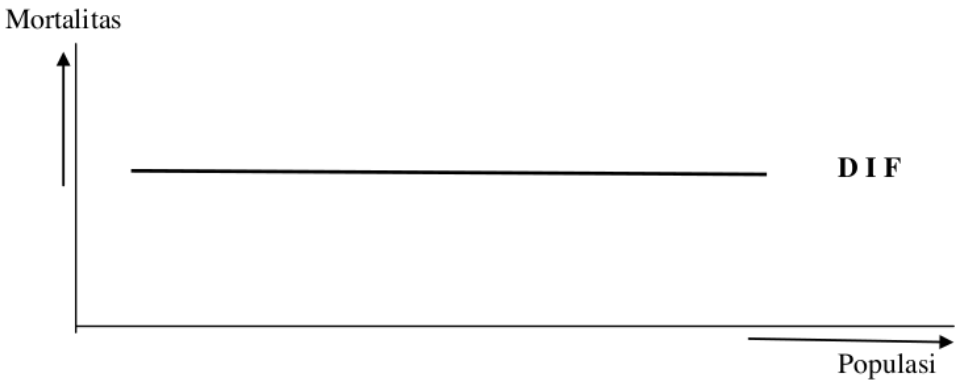
Dari factor-faktor pengendali alami yang berperan utama dalam pengaturan dan pengendalian populasi organisme secara alami adalah DDF yang timbal balik seperti musuh alami melalui proses umpan balik negative (Gambar 21).



Gambar 21. Mekanisme Umpan Balik pada Pengaturan Populasi A oleh Predator.

Faktor bebas dari kepadatan (DIF) merupakan factor mortalitas yang daya penekananya terhadap populasi organisme tidak tergantung pada kepadatan populasi organisme tersebut. Faktor abiotic seperti suhu, kelembaban, angin, dan lain-lain, merupakan DIF yang terpenting. Suhu misalnya pada 35 C dapat mengakibatkan kematian

pada serangga Wereng Kapas 50%. Mortalitas sebesar ini terjadi baik pada populasi wereng rendah maupun pada populasi tinggi. Oleh karena itu bentuk hubungan antara padat populasi dan mortalitas hama wereng adalah mendekati garis lurus (Gambar 22).



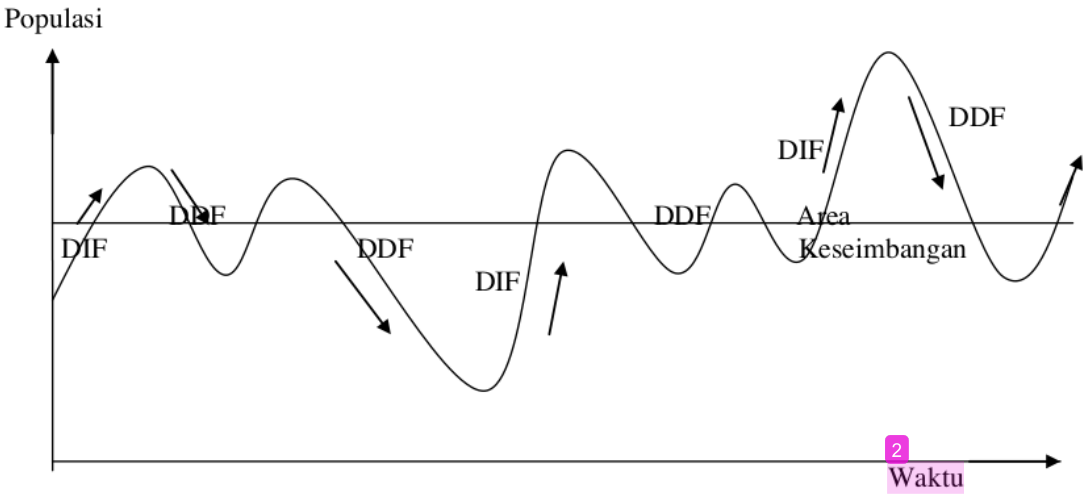
Gambar 22. Hubungan Antara Organisme dalam Populasi dan Mortalitas Akibat Densty Independent Factors (DIF).

Seperti telah diuraikan diatas bahwa dalam proses pengaturan populasi secara alami maka DDF yang paling berperan untuk mempertahankan populasi tetap berada di sekitar aras atau garis keseimbangan populasi karena adanya mekanisme umpan balik negatife yang bekerja secara timbal balik dan sebaliknya DIF dapat membawa populasi semakin menjauh dari aras keseimbangan.

Misalkan, apabila pada suatu saat/pada suatu tempat keadaan suhu sangat tidak sesuai bagi kehidupan serangga hama, maka secara cepat populasi akan menurun menjauhi garis keseimbangn. Namun setelah itu maka factor DDF akan mengangkat kembali ke aras keseimbangannya. Sebaliknya pada keadaan cuaca yang sangat menguntungkan bagi kehidupan dan perkembang-biakan suatu hama, maka segera populasi hama tersebut akan meningkat dengan cepat dan menjauhi aras keseimbangan. Peningkatan populasi tersebut tidak akan berjalan terus, karena DDF akan mengencangkan penekanannya sehingga populasi hama tersebut kembali lagi ke aras keseimbangan (Gambar 23).

Dengan demikian dalam jangka panjang di dalam setiap ekosistem, termasuk juga agro-ekosistem selalu terjadi keseimbangan populasi organisme termasuk hama, yang secara dinamik bergejolak disekitar aras keseimbangan populasi alaminya masing-masing. Jadi setiap organisme dalam kondisi ekosistem tertentu memiliki aras keseimbangannya

sendiri-sendiri. Aras tersebut dapat tinggi, tetapi juga dapat rendah seperti yang kita harapkan.



Gambar 23. Gejolak Populasi Sekitar Arus Keseimbangan Umum dan Bekerjanya DDF dan DIF.

4. Genetika Ekologi

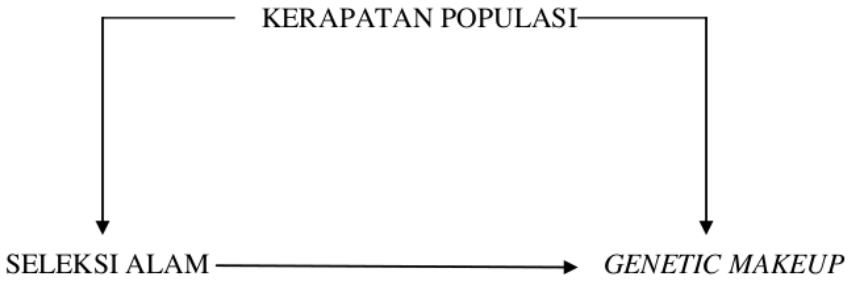
Dalam proses suksesi ekologi terjadi perubahan evolusioner ecosystem secara keseluruhan. Termasuk juga perubahan kuantitas dan kualitas populasi organisme penyusun komunitas. Perubahan komunitas terutama terjadi pada tingkat populasi dan perubahan populasi sangat dipengaruhi oleh hubungan populasi tersebut dengan perubahan yang terjadi pada organisme-organisme lain dan lingkungan fisiknya. Charles Darwin dengan bukunya yang terkenal dengan judul *"The Orgin of Species"*, merupakan ahli yang pertama kali menekankan perlunya kita memperhatikan interaksi antara organisme yang mampu menghasilkan seleksi alam dan evolusi spesies.

Secara khusus evolusi dapat diartikan sebagai proses yang menyebabkan terjadinya perubahan sifat populasi spesies dari waktu ke waktu berikutnya. Sifat populasi spesies ditentukan oleh susunan genetic yang dimiliki oleh individu-individu penyusun populasi atau oleh *genotype* individu. Turunan berikutnya memperoleh sumber gen terutama dari induknya (parent). Tetapi tindakan itu saja, karena lingkungan melalui factor fisik seperti radiasi, panas atau proses kimiawi dapat menyebabkan terjadinya mutasi gen. Adanya pengalihan gen dari induknya bersama mutasi gen mengakibatkan terjadinya banyak

susunan kombinasi gen baru pada individu-individu dalam populasi. Kombinasi-kombinasi gen tersebut yang kemudian dimiliki oleh individu-individu turunan berikutnya. Meskipun secara morfologi individu-individu penyusun populasi mempunyai sifat morfologi yang sama, tetapi sebenarnya sifat individu mungkin sedikit berbeda satu dengan lainnya karena kandungan gen antar individu dalam populasi yang sama sangat bervariasi.

Terdapat dua kelompok factor yang mempengaruhi perkembangan individu-individu dalam populasi. Faktor-faktor tersebut adalah (1) factor "ekstrinsik" yang meliputi makanan, musuh-musuh alami, cuaca dan habitat; (2) factor "intrinsic" seperti aspek-aspek fenotipik dan genotipik dalam populasi. Fort (1931 *vide* Krebs, 1978) mengemukakan bahwa pengendalian alami populasi terkait dalam seleksi alam dan peningkatan viabilitas karena peluang hidup bagi genotip yang interior menjadi lebih besar. Jika keadaan menjadi normal kembali (populasi menurun sekitar daerah keseimbangan), seleksi alam menjadi ketat, individu-individu yang bergenotip inferior akan tersisih dan viabilitas menurun. Dari segi ini dapat dijelaskan mengapa populasi berfluktuasi.

Menurut Pimentel (1961, *vide* Krebs, 1978), perubahan kerapatan populasi berkaitan dengan evolusi dan merupakan mekanisme umpan balik genetik antara herbivore dengan tumbuhan inang dan antara pemangsa dengan mangsa, yang diilustrasikan seperti pada gambar 24.



Gambar 24. Hubungan Antara Kepadatan Populasi dan Perubahan Genetik Akibat Tekanan Lingkungan yang Merupakan Mekanisme Umpang Balik Genetik pada Populasi.

Pada gambar seleksi alam dalam hal ini tekanan factor lingkungan dapat menyebabkan terjadinya mutasi genetic, sehingga terjadi perubahan komposisi gen pada individu dalam

populasi, yang pada akhirnya menyebabkan terjadinya perubahan kerapatan populasi. Teori ini menunjukkan adanya umpan balik genetic yang timbul karena interaksi antar spesies, yang mempengaruhi kerapatan populasi, dan menunjukkan peranan koevolusi dalam pertumbuhan populasi. Hal ini juga mengingatkan akan perlunya berhati-hati dalam mengintroduksi populasi suatu spesies ke daerah baru yang jauh dari pemencaran spesies yang bersangkutan.

Selama kurun waktu geologis berjalan, akan terjadi perubahan keadaan lingkungan dari keadaan yang lama menjadi yang yang baru. Perubahan lingkungan ini mengakibatkan banyak individu yang tidak dapat mempertahankan kehidupannya lagi, tetapi ada juga kelompok-kelompok individu yang mampu bertahan terus. Kelompok ini ternyata memiliki sifat khas yang mampu beradaptasi dengan keadaan lingkungan yang baru, baik lingkungan abiotic maupun biotic. Sifat adaptif ini terbawah oleh karena adanya gen-gen adaptif yang dimiliki oleh individu tertentu, tetapi tidak dimiliki oleh individu-individu yang lain. Apabila berikutnya terjadi lagi perubahan lingkungan maka dari populasi tersebut muncul kelompok individu yang dapat bertahan dengan yang baru ini. Dengan proses evolusi demikian spesies tersebut dapat melalui seleksi alami sehingga mampu bertahan terus dalam keadaan dan tekanan lingkungan yang selalu berubah.

Proses evolusi melalui seleksi alam ini menyebabkan selalu terjadinya perubahan perlengkapan sifat spesies melalui perkembangan variasi susunan gen yang dimiliki oleh populasi spesies. Kelompok spesies individu yang masih dapat bertahan sampai saat ini merupakan kelompok yang telah terseleksi oleh alam secara ketat. Serangga ataupun kelas insekta merupakan kelompok binatang yang telah berhasil melampaui seleksi alam yang ketat sehingga saat ini serangga merupakan kelompok bintang yang paling dominan dibiosfir.

5. Populasi Dibawah Cekaman Insektisida

Penggunaan pestisida dilingkungan pertanian menjadi masalah yang sangat dilematis. Disatu pihak dengan digunakannya pestisida maka kehilangan hasil yang diakibatkan oleh organisme pengganggu tanaman (OPT), termasuk pengganggu dari golongan serangga dapat ditekan, tetapi dipihak lain akan menimbulkan dampak negative

baik terhadap konsumen maupun terhadap lingkungan. Di lain pihak, tanpa penggunaan pestisida akan sulit menekan kehilangan hasil yang diakibatkan OPT.

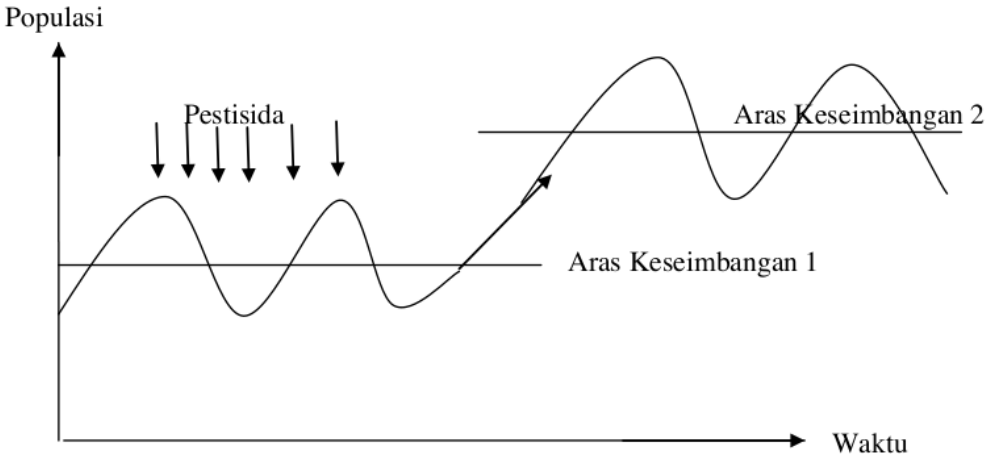
Dilema yang dihadapi dalam menangani masalah produksi pertanian, khususnya pangan, adalah apabila kegiatan pertanian dilaksanakan tanpa penggunaan pestisida maka sulit diperoleh produksi pertanian yang memadai. Namun, dilain pihak dengan penggunaan pestisida yang kurang bijaksana (khususnya yang bersifat sinetetis), sering merugikan terhadap lingkungan. Beberapa kasus yang merugikan akibat penggunaan pestisida menurut Kardiman (2000) adalah : (1) Kasus keracunan (lebih dari 400.000 kasus dilaporkan pertahunnya, 1,5 % diantaranya fatal; (2) Polusi lingkungan (kontaminasi air, tanah, udara dan dalam jangka panjang terjadi kontaminasi terhadap manusia dan makluk hidup lainnya; (3) Perkembangan serangga menjadi Resisten, resurgensi, ataupun toleran terhadap pestisida, serta dampak negative lainnya.

Di Indonesia, dengan perkembangan populasi penduduk yang tergolong cepat, pangan merupakan masalah yang ditangani pemerintah secara serius. Pemerintah pada awalnya mengimpor bahan pangan untuk memenuhi kebutuhan pangan dalam negeri, tetapi pada akhirnya mampu berswasembada pangan (*food self sufficiency)*. Salah satu penyebab tercapainya keberhasilan ini adalah dengan penggalakan penggunaan pestisida.

Pada awal tahun delapan puluhan pestisida dianggap sebagai suatu jaminan akan keberhasilan bertani bagi petani di Indonesia. Tanpa pestisida hampir dipastikan kegiatan pertaian tidak akan berhasil secara optimal dan sebaliknya dengan pestisida kegiatan bertani dijamin keberhasilannya. Pada waktu itu, penggunaan pestisida didukung oleh pemerintah melalui Bimas-Inmas sehingga penyaluran pestisida ke desa-desa berjalan lancar. Dengan pemberian subsidi yang besar, yaitu mencapai 80 % terhadap pestisida di Indonesia menjadi lading bisnis yang paling menguntungkan, sehingga banyak perusahaan-perusahaan pestisida yang muncul. Pada sekitar tahun 1984 – 1985 merupakan puncak kejayaan penggunaan pestisida, banyak jenis dan formulasi pestisida yang beredar dipasaran. Namun pada saat iut juga beberapa hasil penelitian baik dari pakar-pakar peneliti dari perguruan tinggi maupun dari lembaga-lembaga penelitian pertanian khususnya dibidang Hama dan Penyakit Tumbuhan menunjukkan beberapa dampak negative dari penggunaan pestisida. Beberapa dampak penggunaan pestisida yang kurang bijaksana antaranya kasus keracunan pada manusia baik pengguna maupun keluarganya, keracunan

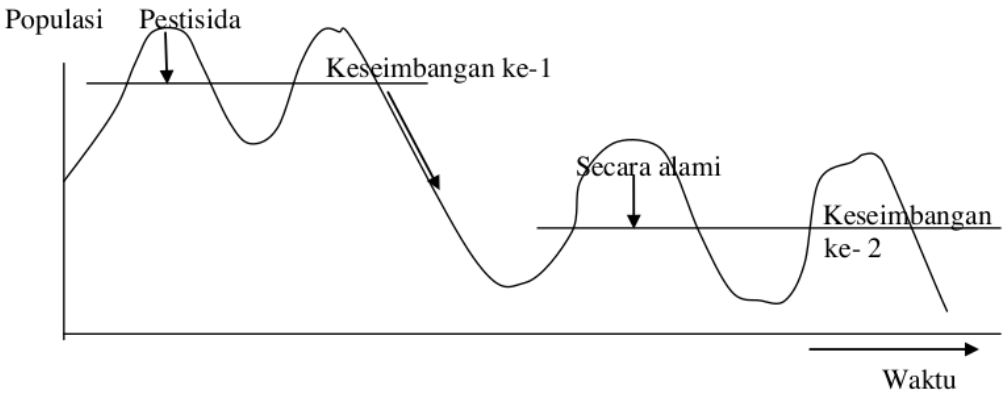
ternak peliharaan, populasi lingkungan, serta terjadinya resistensi dan resurgensi pada hama.

Dalam mengelola agro-ekosistem, manusia dapat juga mempengaruhi atau mengubah letak Arus Keseimbangan yaitu dengan menggunakan pestisida yang berlebihan dan kurang tepat (tidak bijaksana). Karena terbunuhnya musuh alami yang berfungsi sebagai pengendali alami hama, maka hama tersebut dapat dengan bebas meningkatan populasinya. Apabila penggunaan pestisida dilakukan terus menerus maka akibatnya arus keseimbangan hama tersebut akan meningkat melampaui arus keseimbangan sebelumnya (Gambar 25).



Gambar 25. Peningkatan Arus Keseimbangan Umum Akibat Perlakuan Pestisida Secara Terus Menerus.

Arus tersebut dapat juga diturunkan apabila yang terjadi sebaliknya yaitu antara lain dengan memasukkan musuh alami atau melakukan konservasi musuh alami. Tindakan manusia yang demikian akan mendorong bekerjanya pengendali alami didaerah tersebut, yang dalam jangka panjang akan dapat menurunkan arus keseimbangan populasi hama (Gambar 26).



Gambar 26. Penurunan Aras Keseimbangan Umum Akibat Pengendalian Faktor Alam.

Pertanyaan

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan populasi dan berikan beberapa contoh.
2. Jelaskan dengan gambar dua tipe pertumbuhan populasi
3. Jelaskan tentang dinamika populasi serangga dan sebutkan factor-faktor yang mempengaruhinya.
4. Jelaskan perbedaan populasi serangga hama dalam lingkungan alami (dibawah pengontrolan musuh alam) dan dibawah cekaman pestisida.

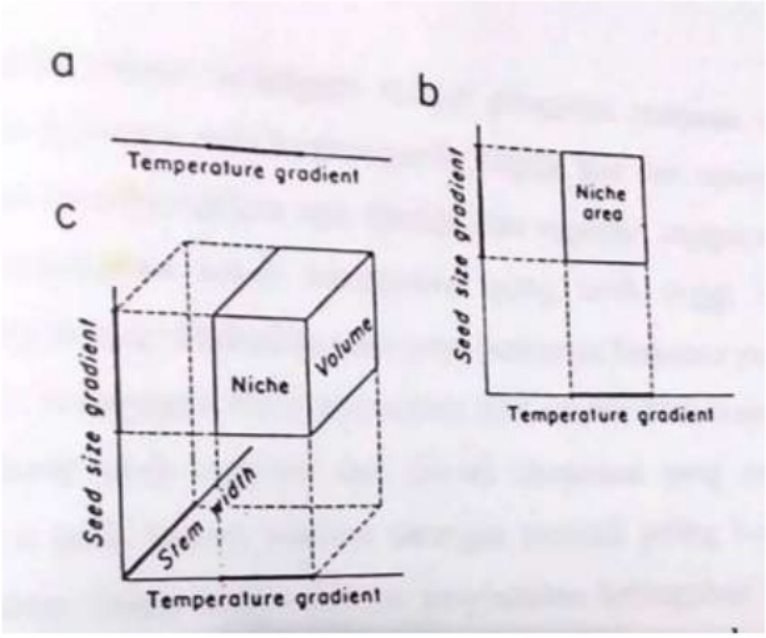
BAB VIII
KOEKSISTENSI DAN KOMPETISI

1. Konsep Relung (Niche)

Prinsip kompetisi eksklusif oleh Gause menimbulkan interprestasi bahwa hanya spesies yang tidak serupa saja yang akan didapati berada bersama-sama di alam. Kenyataannya, banyak spesies dijumpai hidup bersama didalam komunitas yang sama. Pengamatan ini menimbulkan pertanyaan, bagaimana dua atau lebih spesies dapat berada pada tempat dan dalam waktu yang sama. Pemikiran ini menuntun kepada konsep "relung ekologi". Istilah yang sering disalah-gunakan karena kata relung (Niche) mempunyai arti tambahan (konotasi) yang berarti ruang. Sedangkan relung ekologi disini bukan berbicara tentang ruang, tapi agaknya lebih merupakan (rule) yang dimainkan oleh suatu organisme. Analogi yang sederhana dari relung adalah "profesi" suatu organisme yang berada dengan habitatnya, yang adalah alamatnya. Jadi habitat adalah bagian dari suatu ekosistem ditempati oleh organisme(addres). Niche adalah merupakan peran dari suatu ekosistem (job). Definisi kerja dari relung adalah lebih kompleks dan melibatkan banyak factor dari cara dimana suatu organisme mempertahankan dan menjalankan kehidupannya.

Di alam relung merupakan keseluruhan lingkungan cara hidup dari semua anggota spesies dari organisme tertentu dalam suatu komunitas. Deskripsi suatu relung, termasuk didalamnya factor-faktor fisik seperti temperature, yang membatasi dimana organisme dapat bertahan hidup, dan kebutuhannya akan kelembaban. Termasuk didalamnya pula aspek-aspek tingkah laku dari suatu organisme, seperti bentuk perpindahan, pergerakan dan siklus aktivitas harian atau musiman. Semua factor ini mempengaruhi interaksi dari anggota-anggota spesies yang satu dengan spesies yang lain yang berada didalam komunitas B.

Bila temperature yang diperlukan suatu spesies dianggap mungkin untuk menentukan kisaran toleransi suatu spesies dalam hubungannya dengan Niche atau pada dimensi ini (temperature) dari Niche disebut suatu Niche yang berdimensi satu. Bila spesies dapat memakan benih, maka dia akan dapat memakan suatu kisaran tertentu dari ukuran benih dari apa yang tersedia di habitat, dikombinasikan dengan temperature, kita mendapatkan Niche yang berdimensi dua, suatu area. Gambar 27.



Gambar 27. Diagram Gambaran dari Niche Dimana Suatu Spesies dapat Menggunakan Beberapa Sumber Daya dengan Jenis Tebal. (a) Suhu Niche yang didefinisikan oleh satu dimensi; (b) Suatu Niche yang didefinisikan oleh dua dimensi; (c) Suatu Niche yang didefinisikan oleh tiga dimensi. Volume Niche menggambarkan ruang dimana suatu spesies dapat bersaing dan berbiak.

Untuk dimensi Niche tunggal seperti suhu, kisaran yang ditempati pada umumnya disebut *luas Niche*. Makin luas Niche suatu populasi, maka makin besar pula kisaran sesuatu factor yang ditempati. Pada pokoknya pengertian luas Niche sama dengan konsep spesialisasi atau generalis ekologis. Untuk spesies yang khusus Nichenya lebih sempit, spesies yang umum (secara ekologis) luas nichenya lebih besar. Sebagai contoh kumbang Gandum dapat dilihat bahwa spesies yang mempunyai Niche yang lebih luas untuk parameter suhu, mempunyai Niche yang lebih sempit untuk parameter kelembaban gandum. Sebab hanya dua parameter lingkungan yang diukur, tiap spesies mempunyai daerah Niche, untuk tiga factor masing-masing mempunyai volume dan bila Niche mempunyai lebih dari 3 faktor maka Niche menjadi hiper volume n – dimensi.

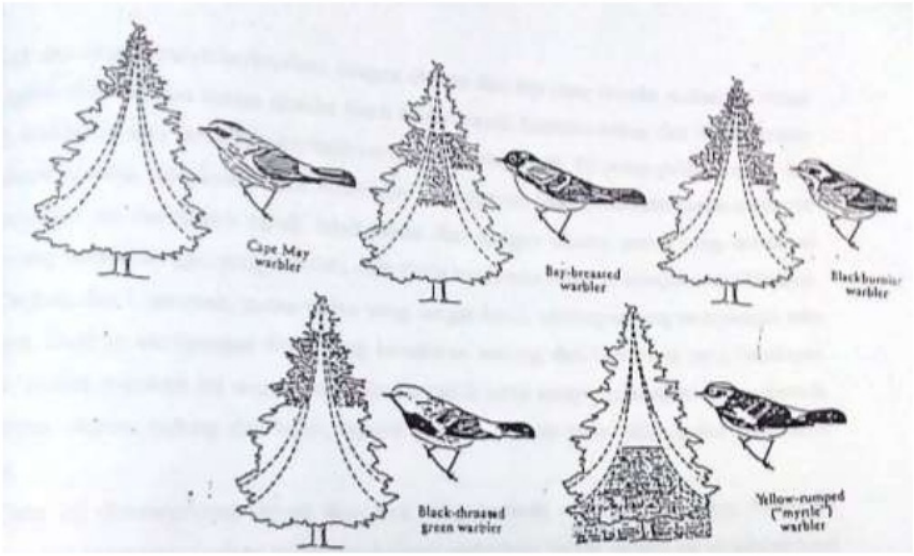
2. Tingkah Laku

Root 1967 dalam Price (1975) mempelajari pola dari Gnatcatcher bagaimana spesies ini dapat menyesuaikan dengan suatu lingkungan yang berubah secara konstan. Gnatcatcher penangkap serangga *Polioptila caerulea*, di California nampaknya beradaptasi dengan lingkungan yang berubah-ubah selama suatu musim, dan adaptasi ini berbeda secara luas dari spesies lainnya yang juga dapat hidup disitu. Root menemukan bahwa Gnatcatcher biru abu-abu ini jauh berbeda dari burung Insectivora yang lainnya yang juga hidup disitu dalam hal panjang kaki dan bentuk sayapnya. Dihubungkan dengan ukurannya yang kecil, penggunaanya pada tempat bertengger tempat pencarian makanan yang lebih kecil. Gnatcatcher mencari makanan pada bagian perifer bagian luar dari canopy pada tumbuhan yang berkayu, tanpa memperhatikan tipe spesies atau vegetasi. Sayapnya yang lebih kecil penggunaannya pada tempat betengger tempat pencarian makanan yang lebih kecil, Gnatcatcher mencari makanan pada bagian perifer bagian luar dari canopy pada tumbuhan yang berkayu, tanpa memperhatikan tipe spesies atau vegetasi. Sayapnya yang lebih kecil memungkinkan kemampuan untuk bermanuver yang lebih tinggi untuk menangkap sebagian besar mangsa yang ditemukan pada zone pencarian makanan yang ditentukan oleh ukuran dan tempat bertengger. Pada permulaan dari musim berkembang biak, serangga paling banyak berada pada vegetasi dan daerah chapannal yang ada disemak-semak . Diwaktu berikutnya pada musim tersebut serangga menjadi paling banyak di pepohonan Oak yang berdekatan. Sama halnya dengan perpindahan kelimpahan serangga, demikian juga dengan pencarian makanan Gnatcatcher berpindah, sehingga mereka secara esensial tetap berada pada suatu Niche dengan makanan yang cukup dengan melakukan perpindahan.

3. Pembilahan Sumber Daya

Konsep relung ekologi mengandung pengertian bahwa apabila dua spesies yang serupa didapati berada bersama-sama, melalui pengamatan secara lebih rinci dapat ditunjukkan bahwa spesies-spesies tersebut memiliki relung yang berbeda-beda. Meskipun kelihatannya organisme-organisme tersebut menggunakan dan atau berkompetisi untuk sumber daya yang sama, tetapi ternyata tidak demikian. Banyak penelitian membuktikan bahwa sering ada pembilahan dari suatu komunitas. Penyebab dari pembilahan

(partitioning), sampai saat ini masih merupakan materi yang belum ada kesepakatan pendapat di antara para ekologis. Beberapa contoh dari fenomena ini diantaranya adalah burung Warblers (Gambar 28).



Gambar 28. Zona Makan dari Kelima Spesies "Warblers" (Biology, Edisi ke 5; Curtis & Burnes, 1986; hal. 1109).

Beberapa hutan di New England dihuni oleh 5 spesies Warblers (sejenis burung kecil dari Famili *Parudilae* atau sub family *Silvinae*) yang berhubungan erat. Semuanya kira-kira berukuran sama, serta adalah pemakan serangga (insektor). Almarhum Robert Mac Arthur seorang ekologiwan muda yang inovatif dan brilian dengan sangat hati-hati mengamati waktu dimana burung-burung ini makan di atas pohon. Data yang ia kumpulkan menunjukkan bahwa ke 5 spesies (yang sekarang ini dikenal sebagai Mac Arthur's Warblers) masing-masing mempunyai zone makan yang berbeda-beda, karena mereka mengeksploitasi sumber daya yang agak berbeda dari pohon di mana spesies tersebut terdapat bersama-sama. Pengamatan pada kelompok-kelompok binatang lainnya, termasuk serangga, ikan, tikus, kadal padang pasir, menunjukka sifat yang sama, yakni adanya pembilahan dari sumber daya yang digunakan.

Pembilahan sumber daya yang diamati antara Warblers, dan banyak organisme-organisme lainnya adalah hasil dari kompetisi. Pada organisme seperti Warblers, kompetisi

berlangsung pada saat sekarang ini. Pada beberapa organisme lainnya seperti lumut, dan *Ungulates*, kompetisi sudah terjadi dalam periode evolusi yang lalu, yang menuntun ke bentuk adaptasi yang memungkinkan organisme-organisme tersebut hidup bersama-sama. Fenomena di mana spesies yang berada hidup bersama di dalam lingkungan yang sama dan memiliki karakteristik yang menyimpang dari karakteristik aslinya dikenal sebagai penggantian karakter (character displacement)

Salah satu contoh yang sering diambil untuk penggantian karakter adalah paruh dari "Darwin''s finches" (sejenis burung kecil di kepulauan Galapagos). Spesies *finch* tanah yang berukuran kecil, sedang dan besar adalah sangat serupa satu sama lainnya, kecuali berbeda dalam keseluruhan ukuran tubuh dan paruhnya. Perbedaan-perbedaan dalam bentuk dan ukuran paruh berkorelasi dengan ukuran dari biji yang mereka makan. Di pulau Abingdon dan Bindloe ketiga spesies finch tanah berada bersama-sama, dan dapat dengan jelas dibedakan satu sama lain berdasarkan pada ukuran paruh. Di pulau-pulau Charles dan Chatham, spesies yang besar tidak ditemukan, dan spesies yang berukuran paruh sedang di pulau-pulau ini berukuran tubuh lebih besar dan dengan ukuran paruh yang bervariasi (tumpang tindih) dengan yang dimiliki oleh finch berukuran besar di Abingdon dan Bindloe. Di Daphne dan Crossman, pulau-pulau yang sangat kecil, masing-masing mempunyai satu spesies. Daphne mempunyai finch yang berukuran sedang, dan Crossman yang berukuran kecil. Kedua populasi ini mempunyai ukuran paruh yang serupa yaitu ukuran yang berada di antara ukuran sedang dan kecil, seperti yang di jumpai pada pulau-pulau yang lebih besar.

Data ini diinterpretasi dalam dua cara yang berbeda oleh para ekologis. Beberapa ekologiwan mempertahankan bahwa perbedaan-perbedaan dalam ukuran paruh adalah hasil tekanan seleksi yang terjadi oleh adanya kompetisi antar spesies. Menurut interpretasi ini, kompetisi antar organisme dengan relung ekologi yang tumpang tindih menimbulkan adanya seleksi terhadap individu-individu dengan karakteristik yang tumpang tindih. Hal ini mengarah pada penyimpangan (divergence) yang terjadi antara spesies. Hipotesis lainnya menyangkal dengan mengatakan bahwa hal itu tidak mungkin ditentukan karena perbedaan ukuran paruh adalah hasil interaksi kompetisi yang terjadi pada waktu spesies-spesies yang berbeda itu berada bersama pada pulau-pulau yang sama. Dengan kata lain mereka adalah hasil adaptasi dari kondisi setempat yang terjadi waktu spesies terisolasi

dari yang lainnya pada pulau yang berbeda. Ekologiwan-ekologiwan ini percaya bahwa bukti kesimpulan adanya penggantian karakter membutuhkan bukti yang menunjukkan bahwa spesies yang dipertanyakan adalah menyimpang sekarang ini di daerah-daerah di mana mereka ditemukan bersama-sama.

Joseph H. Connel dari Universitas California di Santa Barbara mengemukakan bahwa apa saja yang kurang adalah hanya satu seruan (invocation) Dari '' Roh kompetisi masa lalu''. Namun demikian kedua kelompok ekologiwan setuju bahwa apapun penyebab terjadinya evolusi tersebut, perbedaan-perbedaan di dalam ukuran dan bentuk paruh memungkinkan spesies finch berbeda menggunakan sumber-sumber makanan yang berbeda dengan demikian dapat hidup bersama-sama.

Pertanyaan

1. Apa perbedaan antara habitat dan Niche
2. Jelaskan factor-faktor yang dibutuhkan serangga dalam suatu relung.

BAB IX
KOMPETISI INTRA DAN INTER SPESIFIK

1. Pegertian Kompetisi

Kompetisi adalah interaksi antara individu-individu dari satu atau beberapa organisme. Kompetisi dapat terjadi diantara satu spesies yang sama, Intra spesies, atau diantara anggota-angota dari spesies yang berbeda, inter spesies, yang menggunakan sumber daya yang sama, dengan persediaan yang terbatas. Sebagai hasil kompetisi, kondisi-kondisi fisik optimum yaitu kesuksesan reproduksi individu-individu yang berinteraksi dapat menjadi berkurang. Di antara banyak sumber untuk mana organisme dapat bersaing adalah makanan, air, cahaya, atau ruangan hidup termasuk lokasi tempat bersarang. Kompetisi dapat berupa perkelahian atau interaksi muka dengan muka yang disebut kompetisi interference. Kompetisi dimana tidak ada interaksi secara langsung, tetapi melibatkan pemindahan atau pengosongan sumber daya meninggalkan sedikit untuk yang lain, disebut kompetisi eksploitatif.

Tingkat kompetisi adalah menjadi lebih besar jika terjadi diantara organisme yang mempunyai kebutuhan dan cara hidup yang sama. Tumbuh-tumbuhan bersaing dalam hal sinar matahari dan air. Herbivora pun hewan pemakan tumbuhan berkompetisi satu terhadap yang lain.

2. Predasi

Predasi (pemangsaan) adalah memakan organisme hidup termasuk tanaman oleh hewan, hewan oleh hewan, bahkan hewan oleh tanaman. Predator menggunakan sejumlah teknik yang berbeda untuk mendapatkan makanan yang disebut ***strategi mencari makan (foraging strategy)***. Strategi mencari makan ini mendapat tekanan seleksi yang kuat, mereka dengan strategi mencari makan yang lebih efisien kelihatannya memiliki lebih banyak keturunan, dari sisi mangsa, mereka yang paling sukses menghindari predasi juga memiliki banyak keturunan dengan demikian, predasi mempengaruhi evolusi dari keduanya predator dan mangsa (prey) , dan juga mempengaruhi jumlah organisme didalam suatu populasi, serta keragaman spesies didalam suatu komunitas.

Sebagian besar organisme heterotroph memperoleh makanan dengan memangsa organisme lain. Meskipun dengan beberapa pengecualian, kebanyakan predator berukuran lebih besar dari mangsa yang dikonsumsi. Hubungan dengan mangsa umumnya bersifat temporer, hanya selama cukup untuk konsumsi atau sekurang-kurangnya sebagiannya. Hewan yang memangsa hewan lain hampir selamanya membunuh mangsa mereka. Di lain pihak, herbivore (rusa, kelinci, serangga) biasanya hanya memakan sebagian dari tubuh mangsa.

Apabila kita menerima bahwa sumber daya memainkan peranan penting dalam kehidupan semua binatang, kita tidak akan kaget kalau melihat banyak adaptasi dengan tujuan : (a) menambah keefektifan predasi, (b) meminimumkan resiko mangsa. Untuk menghindari kesempatan dimangsa ada beberapa cara/alat dari mangsa yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

3. Kamuflase (cryptic coloration)

Banyak binatang yang mempunyai bentuk demikian, yang membantu mereka untuk dapat berbaur dengan sekelilingny. Banyak organisme dapat secara cepat berganti bentuk sesuai bentuk atau warna latar belakang di mana mereka berada, bahkan pada beberapa jenis serangga berhasil mengembangkan teknik kamuflase yang sangat cepat melalui proses evolusi. Sebagai contoh, pengujian response ngengat *Biston betularia*, dengan perubahan warna menjadi lebih gelap pada udara yang terpolusi, di pohon dimana dia beristirahat.

Contoh lain adalah Kupu-kupu Kalima. Meskipun mempunyai venasi sayap yang sama dengan kupu-kupu *Kalima*, memancar dari titik pelekatan, *Kalima* mempunyai sayap dengan garis gelap melintang venasinya yang mirip dengan ibu tulang daun atau venasi tengah dari daun. Ulat ranting yang tidak bergerak, dilengkapi dengan tunas dan bintil adalah adapatasi yang sangat baik untuk menghindari deteksi burung-burung walaupun kadang-kadang karena kepintarannya beradaptasi seperti itu, serangga lain meletakkan telur-telurnya pada ulat tersebut secara tidak sengaja.

4. Pertahanan (defense)

Banyak tumbuhan dan binatang yang mempunyai kemampuan beradaptasi yang dapat melindungi dari predator. Duri seekor landak dan kelenjar bau dari sebangsa musang adalah contoh yang sudah tak asing lagi . Millipid mengsekresi asam hydrocyanic yang beracun apabila diganggu. Banyak serangga mempunyai kelenjar khusus yang memungkinkan mereka menyembur predator dengan senyawa-senyawa noxius seperti 85 % asam asetik atau 40 % asam formic. Zat-zat beracun (asam hydrocyanic) dan duri-duri ini juga merupakan mekanisme pertahanan yang sering dijumpai pada tanaman.

Adalah jauh lebih bermanfaat apabila mempunyai alat pertahanan yang kuat dan dikenal/diketahui oleh potensial predator sebelum ia memulai serangannya. Evolusi terhadap hal ini terjadi melalui penataan warna yang disebut *kolorasi aposematik* . Sebagai contoh larva kupu-kupu Monarch yang mempunyai warna yang cerah dan menarik. Warna ini buka kamuflase, tetapi dengan sengaja dipamerkan. Hal ini dilakukan karena kupu-kupu tersebut mempunyai zat kimia yang beracun terhadap vertebrata, yang diperolehnya dari sejenis gulma (milk weed) yang dimakannya. Senyawa kimia ini kemudian ditransfer selama proses metaformosa sampai pada tahap imagonya, yang menyebabkan kupu-kupu ini menjadi beracun.

Predator pada umumnya tidak memulai suatu serangan terhadap individu-individu yang berkelompok, karena adanya kemungkinan melarikan diri dalam proses penyerangan. Dalam banyak hal, ternyata bahwa predasi terhadap binatang social umumnya dimulai dengan memangsa yang lebih lemah (muda, tua, atau yang sakit).

5. Respons Melarikan Diri

Keseimbangan antara predator dan jumlah mangsa adalah keseimbangan yang labil. Terjadinya penambahan pada populasi mangsa member peluang pada bertambahnya populasi predator. Predasi bertambah mengakibatkan turunnya populasi mangsa, diikuti oleh reduksi didalam konsentrasi predator. Sudah tentu hal ini memberi peluang untuk membangun populasi mangsa yang lain.

Adalah penting bagi keduanya, predator dan juga mangsa, bahwa kenaikan dan penurun populasi tidak terjadi secara ekstrim. Populasi predator dapat pula musnah apabila populasi mangsa dimusnahkan secara total, kecuali predator tersebut dapat beradaptasi

dengan menyesuaikan diri dengan memangsa jenis yang lain. Selanjutnya dalam habitat yang terbatas seperti kolam kecil, ancaman kepunahan bersama (mutual extinction) sering lebih nyata. Cara praktis untuk menghindari bahaya ini belum diketahui, tetapi suatu mekanisme control yang baik sudah ditemukan. Dibagian timur USA, kolam air tawar sering dihuni ikan kecil *Gambusia*, pemakan larva nyamuk. Sebaliknya *Gambusiq* dimangsa oleh ikan *Exossp* (*pickerel*), sejenis ikan yang besar, merupakan perenang yang cepat dan predator yang rakus. Untuk menghindari predatornya ikan pemangsa nyamuk *Gambusia* tidak bersembunyi di bawah vegetasi air tetapi dapat menghindar dengan cara melarikan diri dari pemangsaan ikan *Exossp*. Mereka mempunyai satu mekanisme perlindungan diri yang baik. Apabila ikan *Gambusia* mendeteksi kehadiran – kehadiran ikan *Exossp*, mereka pindah ke permukaan air dan mulai mencepuk-cepuk air. Selama hal ini berlangsung *Exossp*. Seringkali berusaha menyerang namun sering mengalami kegagalan. Apabila satu anggota bergerak ke bawa permukaan, ia akan segera ditelan. Signal (isyarat) dari ikan *Gambusiasp*. Adalah berupa signal kimiawi. Apabila air yang sudah direnangi oleh *Exossp*. ditambahkan ke suatu aquarium dengan ikan *Gambusiasp*. Didalamnya, dengan segera ikan-ikan tersebut akan menunjukkan tingkah laku mencari perlindungan.

Yang belum diketahui sepenuhnya adalah mengapa ikan *Exos* sp. Sering tidak berhasil memangsa pada saat mangsanya berada dipermukaan. Dengan kegagalan memusnahkan mangsanya, *Exossp*.menghindari pemusnaan diri sendiri. Populasi *Exossp*.mengatur kelebihan populasi *Gambusia*, dan dengan demikian kedua populasi dipertahankan pada tingkat yang seimbang. Disini dapat dilihat bagaimana tingkat seleksi alam mempertahankan respons ini pada *Gambusia*. Setiap individu dalam populasi yang genotip responsnya berkurang akan menghilang ke dalam kerongkongan *Exossp*.

6. Mimikri

Contohnya mimikri adalah pada jenis kupu-kupu *Vicero* (yang rasanya dapat diterima oleh yang memakannya, *palatable*) yang mirip sekali dengan kupu-kupu *Monark* (yang tidak enak dimakan, *unpalatable*). Contoh lain adalah sejenis dipteran (robber fly) yang meniru bentuk tubuh sejenis lebah (bumble bee), dan dengan demikian terlindung dari predator. Sudah di demonstrasikan bahwa setelah seekor katak menderita karena

menelan lebah tersebut, katak tersebut tidak saja menghindari “bumble bee”, tetapi juga ”robber fly”. Menarik untuk diperhatikan bahwa meskipun memiliki bentuk yang mirip dengan “bumble bee”, namun “robber fly” belum membebaskan diri dari evolusi warisannya. Seperti semua dipteran (flies), mereka masih mempunyai 2 (dua sayap), dan bukan 4 sayap (2 pasang) seperti yang dimiliki oleh “bumble bee” dan anggota-anggota hymenoptera lainnya.

7. Lomba Senjata

Didalam setiap komunitas, predator dan mangsa terlibat dalam perlombaan meningkatkan persenjataan. Sebagai contoh kumbang *Eleodeslongicollis* mempunyai kelenjar yang dapat mengsekresi senyawa yang merusak yang terdapat pada bagian ujung abdomen. Apabila diganggu, kembang ini segera berdiri di atas kepala dan menyemprotkan senyawa kimia dari kelenjarnya. Sejenis tikus pemangsa serangga (grasshopper mice) mengenal *Eleodes* yang bertingkah laku demikian. Tikus ini memangsa kumbang tersebut dengan membenamkan bagian abdomen dari kumbang tersebut ke dalam tanah dan memakan kepalanya lebih dulu.

Biji-biji leguminosa sering diserang oleh sejenis kumbang bruchids. Imago meletakkan telur-telurnya pada polong yang sedang berkembang, dan larva pada saat menetas menggerek masuk kedalam biji. Tiap larva menempati satu bji dimana larva tersebut makan, tumbuh dan berkembang. Leguminosa berhasil mengembangkan suatu system, yakni dengan memproduksi biji dengan ukuran yang sedemikian kecil sehingga tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan seekor larva untuk mencapai stadium pupa. Dengan kemudian larva-larva tersebut menjadi tidak berminat untuk menyerang biji-biji yang kecil tersebut. Jenis leguminosa lainnya memproduksi senyawa-senyawa kimia yang dapat menghalangi bekernya enzim protein. Sistem-system pertahanan seperti ini umumnya mampu menekan serangan kebanyakan serangga. Dipihak lain, *burchids* sudah berevolusi dengan merubah jalur metabolic yang dapat melewati rintangan bekerjanya enzym.

8. Predasi dan Dinamika Populasi

Bagi kebanyakan populasi, predasi adalah penyebab kematian yang terbesar. Namun secara paradox semuanya ini belum jelas bahwa predasi menemukan populasi mangsa dibawah daya dukung lingkungannya. Namun bila predasi lebih condong pada kelompok umur tertentu (muda lawan lanjut usia) atau pada tingkatan hidup tertentu secara tradisional adalah terjadinya predasi yang berlebihan (*overpredation*) oleh *Lynx* sangat tergantung pada *Lepussp*. Sebagai mangsa. Penurunan dalam predasi memberi peluang bertambahnya populasi Lepus yang kemudian diikuti oleh penambahan didalam populasi *Lynx* dan seterusnya.

Penjelasan kedua adalah populasi *Lepus* secara teratur mengalami fluktuasi setiap 10 tahun, kemudian karena penyakit yang berasosiasi dengan jumlah populasi yang terlalu padat, atau pengaruh aktivitas predasinya sendiri pada vegetasi yang dimakan. *Hypothesis* yang terakhir ini didukung oleh dua penemuan baru berikut ini:

(1) Pada tanaman tertentu yang terlampau banyak dirusak akan tumbuh tunas-tunas baru dan daun-daun yang mengandung senyawa kimia yang dapat meracuni *Lepus*,

(2) Pada pulau dimana terdapat *Lynx*, populasi *lepus* juga mengalami fluktuasi yang serupa. Kemungkinan ketiga adalah, populasi *Lynx* mengalami fluktuasi secara teratur, tidak tergantung pada *Lepus*. Kemungkinan berasosiasi dengan factor-faktor lain, seperti perubahan-perubahan dalam kebiasaan dari predatornya sendiri, seperti manusia sebagai pemburu *Lepus*. Pengurangan dalam jumlah *Lynx* memberi peluang pertumbuhan populasi *hare*, atau dapat pula terjadi bahwa keduanya berfluktuasi secara independen, tidak tergantung satu sama lain. Dengan demikian, pada saat hubungan antara predator dan mangsanya, sekarang dapat lebih lanjut digunakan sebagai contoh kesulitan-kesulitan yang dihadapi dalam mempelajari variable-variabel ekologi.

9. Predasi dan Keragaman Spesies

Jumlah dan macam/keragaman spesies didalam suatu komunitas dapat sangat dipengaruhi oleh predasi. Walaupun dapat terjadi bahwa populasi terkadang dapat menghapuskan populasi spesies mangsanya, namun dalam berbagai percobaan banyak ditujukkan bahwa predator berperan penting dalam mempertahankan keragamanan spesies

dalam suatu komunitas. Sebagai contoh, penelitian pada komunitas pantai berbatu di Amerika Utara dengan predator utama sejenis bintang laut, *Pisaster*. Pada permuluan percobaan terdapat 15 spesies mangsa, termasuk beberapa spesies *barnacle* (*Crustacea* dari ordo *Cirripedia*) dan beberapa spesies *moluska* seperti *mussels* (sejenis kerang mutiara dari genera *Anodonta* dan *Unio*), *limpets* (*moluska* yang mempunyai kulit kerang berbentuk kerucut, Famili *Acmadae* dan *Patellidae*) dan "chitons''. Binatang laut perlahan-lahan dikeluarkan dari suatu area dari komunitas tersebut (seluas 8 x 2 m). Pada akhir percobaan, jumlah spesies yang dijumpai di daerah di mana binatang laut dilepaskan sudah menurun menjadi 8 spesies, dengan struktur komunitas yang didominasi oleh mussels. Didalam komunitas yang tidak terganggu predasi dari binatang laut dapat menahan populasi mangsa ke tingkat yang rendah, dan menyebabkan kompetisi antara spesies menjadi lebih berkurang, dan peluang semuanya dapat survive. Dengan tidak adanya predator, mussels menjadi penyerang utama dalam komunitas, dalam ruang tempat hidup.

Demikian dengan halnya siput laut (*Littorinalittorea*), herbivore yang dapat mengatur jumlah populasi dari sejenis algae di kolam-kolam pasang surut di pantai New England. Di kolam-kolam tersebut siput laut menyukai makanan *algae* hijau *Enteromorpha* adalah competitor (pesaing) yang unggul. Adanya keong unggul ini, dapat menahan algae tersebut, member peluang tumbuhnya spesies algae yang lain. Namun demikian, didaerah yang terbuka pada pasang naik dimana *Enteromorpha* adalah competitor yang unggul pada kondisi terbuka. Hasilnya, daerah ini didominasi oleh spesies-spesies tersebut, dan total keragaman spesies di area yang terbuka tersebut menjadi kurang.

Contoh lain dari peranan predasi dalam mengurangi kompetisi dan memelihara keragaman spesies adalah pada saat terjadinya epidemic virus yang menyerang populasi kelinci di inggris. Pada tanah-tanah berkapur, rumput bertumbuh dengan subur, dan demikian pula saingannya tanaman-tanaman berbunga. Namun keadaan ini hanya mampu bertahan selama setahun, karena sesudah itu kelinci akan menghabisi padang rumput tersebut. Pada wakti terjadinya epidemic virus yang hebat, populasi kelinci menjadi sangat berkurang, dan rumput mengambil alih dan bertumbuh subur lagi sehingga tanaman berbunga liar menghilang.

Pertanyaan

(1). Apa yang dimaksud dengan kompetisi?

(2) Apa akibat dari terjadinya kompetisi pada inter dan intra spesies?

(3) Sebutkan beberapa cirri dari predator?

(4) Sebutkan cara-cara dari mangsa untuk menghindari pemangsa?

(5) Jelaskan perbedaan antara kamuflase dan mimikri.

(6) Bagaimanakah pengaruh predasi pada populasi dan keragaman spesies.

BAB X
SISTEM SOSIAL DAN TINGKAH LAKU

1. Pengertian Sosial (masyarakat)

Tingkah laku dan sosial adalah aspek penting dari cara dimana organisme berkembang dengan lingkungannya. Wilson (1971) mendefinisikan suatu masyarakat sebagai "Suatu kelompok individu yang dimiliki oleh spesies yang sama dan terorganisir dalam suatu tujuan kooperatif".

Banyak spesies dari hewan terkarakteristik oleh kelompok-kelompok yang menarik yang disebut masyarakat, dimana ada divisi pekerja. Individu-individu ini melakukan satu fungsi yang bekerja sama dengan yang lain memiliki kemampuan special yang berbeda. Sebagai contoh, lebah madu, memiliki suatu system komunikasi yang rumit dan terspesialisasi untuk fungsi spesifik. Sedikit individu yang dikenal sebagai "ratu"dan "pejantan" yang terspesialisasi pada reproduksi, sementara sejumlah besar lebah madu pekerja dilibatkan dalam pengumpulan makanan, mempertahankan sarang, dan merawat larva. Peran-peran ini secara kaku dideterminasi oleh pola tingkah laku yang diwariskan.

2. Pengertian Tingkah Laku

Tingkah laku adalah bagaimana organisme bertindak, apa yang dilakukannya, dan bagaimana dia melakukannya. Hal ini melibatkan perasaan terhadap sekelilingnya dan reaksi terhadap perubahan lingkungan. Tingkah laku yang paling jelas melibatkan pergerakan dari hewan, meskipun aktivitas yang lain seperti menghasilkan bau juga penting. Tingkah laku adalah karakteristik lain yang ditampilkan, memiliki nilai atau signifikansi terhadap organisme ketika dia beranjak mengeksploi sumber-sumber dan menghasilkan lebih banyak spesiesnya sendiri.

Tingkah laku adalah bagian yang sangat penting dari peran ekologis dan organisme apapun. Hal ini memperbolehkan hewan untuk melarikan diri dari predator, mencari pasangan, dan memperoleh dominasi terhadap yang lain dari spesies yang sama. Sebagai contoh : Tumbuhan, untuk sebagian besar harus bergantung pada perubahan struktur, fisiologis. Seekor kelinci dapat lari dari seekor predator, tumbuhan tidak. Tetapi tumbuhan dapat mengembangkan diri atau bahan-bahan beracun pada daunnya yang menakutkan

hewan sering melibatkan tingkah laku yang rumit yang membantu mereka mengidentifikasi spesies dan jenis kelamin dari pasangan yang potensial. Hewan memiliki variasi tingkah laku yang memperbolehkan mereka untuk menggunakan dominasi terhadap anggota dari spesies yang sama.

3. Insting

Banyak tingkah laku hewan adalah otomatis, terprogram sebelumnya, dan ditentukan secara genetic. Tingkah laku semacam itu disebut tingkah laku instinetive dan ditemukan pada organisme yang berkisar dari protozoa bersel satu yang sederhana sampai vertebrata yang kompleks. Tingkah laku ini dilakukan dengan baik pertama kali tanpa pengalaman yang mendahuluinya ketika stimulus yang cukup diberikan. Suatu *Stimulus* adalah beberapa perubahan (pada lingkungan internal ataupun eksternal dari organisme yang menyebabkannya bereaksi. Reaksi dari organisme terhadap stimulus ini disebut *respons*. Sebagai contoh: Anjing pelacak mampu untuk mengindentifikasi individu melalui penciuman. Beberapa dari hewan adalah buta warna dan hanya mampu untuk melihat bayangan abu-abu. Banyak yang dapat melihat sinar ultraviolet, yang tidak tampak untuk manusia. Tingkah laku *Intinetive* memiliki nilai yang besar karena dia memperoleh tingkah laku yang perlu untuk terjadi secara sempurna dan benar tanpa pengalaman yang mendahului.

Kekurangan pada tingkah laku instinetive, adalah bahwa hal ini tidak dapat dimodifikasi ketika suatu situasi yang baru menampakkan dirinya. Tingkah laku Instinetive adalah yang paling umum pada hewan yang memiliki siklus hidup yang pendek, system saraf yang sederhana. Contohnya banyak serangga yang menggunakan matahari, bulan sebagai bantuan terhadap navigasi.

4. Tingkah Laku Reproduktif

Bila suatu spesies bertahan hidup, dia harus berproduksi. Ada banyak tahapan pada strategi apapun menemukan satu sama lain. Pertama, harus mempu untuk mengenali individu pada spesies yang sama yang berasal dari jenis kelamin yang berbeda. Bahan-bahan kimia juga berperan dalam menarik hewan. Feromon adalah bahan kimia yang dihasilkan oleh hewan dan dilepaskan ke lingkungan yang memicu perubahan tingkah laku

atau perkembangan pada hewan yang lain dari spesies yang sama. Mereka memiliki efek yang sama seperti suara melalui system kode yang berbeda. Contoh klasik dari feromon adalah bahan kimia yang dilepaskan oleh kupu-kupu malam (moth) betina ke udara. Antena yang besar dan berbulu dari moth jantan dapat menerima bahan kimia ini dalam jumlah yang luar biasa kecil. Jantan kemudian mengubah arah penerbangan dan terbang mengikuti angin ke sumber dari feromon yaitu kepada betina.

Kunang-kunang mungkin merupakan organisme yang paling umum yang menggunakan sinyal cahaya untuk membawa bersama-sama jantan dan betina. Beberapa spesies yang berbeda dapat hidup pada area yang sama, tetapi setiap spesies mengedipkan kodenya sendiri. Kode itu berdasarkan panjang dari kedipan, frekuensinya, dan pola rata-rata juga ada perbedaan diantara sinyal yang diberikan oleh jantan dan betina.

5. Tingkah Laku Teritorial

Suatu bentuk dari pola tingkah laku yang sering dikaitkan dengan reproduksi yang berhasil adalah territorial. Teritorial terdiri dari penyusuran disamping ruang untuk penggunaan dari hewan untuk makanan, percumbuhan dan lain-lain. Teritori adalah ruang yang dipertahankan oleh hewan untuk makanan, percumbuhan dan lain-lain. Teritori adalah ruang yang dipertahankan oleh hewan dari yang lain pada spesies yang sama, ketika territorial pertama kali ditegakkan adalah banyak konflik diantara individu. Hal ini akhirnya memberikan jalan bagi penggunaan beberapa seri dari sinyal yang mendefinisikan teritori dan berkomunikasi dengan yang lain bahwa teritori itu telah dimiliki.

Contoh pada serangga Odonata, jantan mempertahankan suatu cara dan berpasangan dengan betina yang masuk kedalamnya. Jantan nampaknya mempertahankan betina yang bertelur dari jantan yang lain.

Pertanyaan

1) Jelaskan peranan tingkah laku suatu organisme terutama serangga dalam perannya didalalam ekosistem.
2) Apa yang dimaksud dengan insting.
3) Jelaskan perbedaan antara tingkah laku instinetive dan tingkah laku teritorial.
4) Jelaskan salah satu cara serangga dalam menarik lawan jenisnya.

BAB XI
KOMUNITAS DAN DISTRIBUSI

1. Suksesi Tanaman dan Serangga

a. Definisi Suksesi

Banyak komunitas seperti bioma secara relative lebih stabil sepanjang suatu jangka waktu yang lama. Suatu komunitas yang relative stabil, dan berjangka waktu lama disebut *komunitas klimaks*. Kata klimaks mengimplikasikan tahapan akhir pada suatu urutan kejadian. Komunitas dapat berlanjut melalui suatu urutan tahapan yang dapat di prediksi dan sementara yang akhirnya menghasilkan suatu komunitas yang stabil pada jangka panjang. Proses dari perubahan suatu tipe komunitas menjadi yang lainnya disebut *Suksesi*, dan setiap tahapan antara yang menuju pada komunitas klimaks dikenal sebagai *tahapan suksesional*.

b. Bentuk Suksesi

Dua bentuk yang berbeda dari suksesi yang dikenal adalah: *Suksesi Primer*, dimana suatu komunitas dari tumbuhan dan hewan berkembang yang sebelumnya tidak ada, dan *Suksesi Sekunder*, dimana suatu komunitas dari organisme terganggu oleh kejadian yang berhubungan dengan alam ataupun manusia (contohnya: angin rebut, kebakaran hutan, panen) dan kembali ketahapan sebelumnya pada suksesi. Suksesi primer lebih sulit untuk diamati daripada suksesi sekunder karena hanya ada relative sedikit daerah di bumi yang kekurangan komunitas organisme. Puncak pegunungan, bebatuan vulkanik yang baru terbentuk, dan bebatuan yang terexpose oleh erosi atau salju dapat dianggap kurang kehidupan. Bakteri, alga, fungsi dan lichen dengan cepat mulai bertumbuh pada permukaan bebatuan yang polos, memulai proses suksesi. Organisme pertama yang mengkolonisasi suatu area sering dianggap sebagai *organisme pioner*, dan komunitas yang dimana mereka menjadi bagiannya disebut komunitas *pioner*. Lichen sering penting pada komunitas pioner. Mereka adalah organisme yang tidak biasa yang terdiri dari kombinasi sel algae dan sel fungi. Suatu kombinasi yang hangat, lembab dan subur seluruh proses dapat berlangsung kurang dari setahun. Pada lingkungan yang kasar, seperti puncak pegunungan atau area yang sangat kering diperlukan waktu beribu-ribu tahun.

c. Tahapan Awal Suksesi Tumbuhan dan Serangga

Orang yang pertama kali menemukan bahwa suksesi komunitas karena waktu adalah Cowless (1899), yang mempelajari vegetasi bukit berpasir yang berdekatan dengan danau Michigan edan Clements (1916) yang menyusun konsep tentang komunitas dan suksesi pengenalan secara awal tentang suksesi, dengan berjalan dari tepi pantai kita melewati bukit berpasir dan menuju daerah hutan, kita dapat melihat bagaimana perubahan penyebaran tanaman dan serangga. Chevin (1966) meneliti keadaan ini di Pantai Barat Perancis Utara dan penampang transeknya terlihat pada gambar 29.

Gambar 3 menunjukkan bahwa tahap awal suksesi dapat dilihat di bagian barat dan berakhir di timur. Faktor fisik yang berubah menurut waktu akan merubah spesies yang hidup disitu, dan spesies merubah keadaan lingkungannya memungkinkan spesies lain berkoloni.

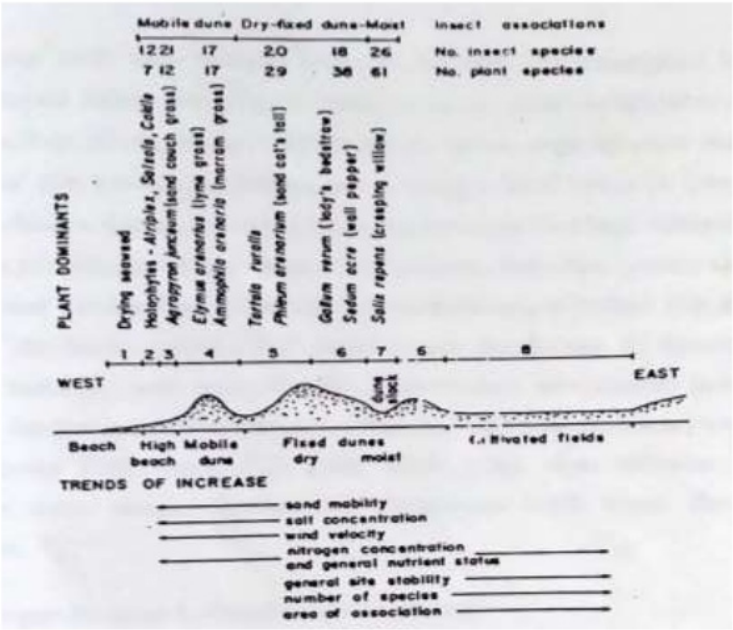
Sebagai contoh, karena bukti berpasir di tepi pantai konsentrasi garamnya sangat tinggi maka hanya tanaman halofita yang dapat tumbuh. Perlahan-lahan garam tercuci dan memungkinkan tanaman lain dapat tumbuh. Pada keadaan awal suksesi jumlah unsur hara masih banyak dan memungkinkan tumbuhan Agropiron Junleum tumbuh baik, namun jika hara tercuci maka tumbuhan yang bertahan hanya jenis-jenis rumput “Cyme Grass, Elymus, Arenarius dan Maram Grass, Amophila Arenaria. Tumbuhan ini menempatkan suatu kondisi yang baru dan memungkinkan tumbuhan lain yang cocok tumbuh. Jika keadaan menjadi lebih stabil untuk dikolonisasi, bahan organic menjadi lebih banyak maka memungkinkan tumbuhan hutan tumbuh. Karena lokasi stabil tadi adalah hasil suksesi maka arealnya akan menjadi luas hingga tercapai suatu luasan maksimum yang ditempati oleh komunitas yang sangat stabil dengan spesies yang jangka bertahannya sangat panjang.

Chevin juga meneliti serangga pada transik tersebut dan menemukan bahwa lebih sulit mengklasifikasikannya pada asosiasi karena mereka kurang spesifik pada factor edafis yang dibutuhkan. Satu spesies dari Chrysomelid (Psylloides mareids) lebih spesifik pada Cakile maritime jadi hanya 7 asosiasi tanaman yang dapat diketahui, hanya 3 asosiasi.

Gambar 29

Serangga yang dapat dikenal (tabel 2). Hal ini dapat disebabkan oleh mobilitas serangga yang diilustrasikan oleh sulitnya identifikasi hewan yang berasosiasi dalam penyebaran. Nampak bahwa paling sedikit ada beberapa serangga yang memiliki pengaruh

pada suksesi. Larva scrabidae yang memakan akar rumput pasir dapat hidup lebih lama pada fase suksesi dengan menurunkan laju pertumbuhan dan mengambil energy dari system perakaran Curculionid mungkin juga menurunkan daya tumbuh tanaman.



Gambar 29. Potongan Melintang Bukit Berpasir di Pantai Barat Contentin Perancis (Chevin, 1966) Karena Angin Kuat dari Barat Maka Pasir Digundukan pada Tanah Terbaru Diamati di Bawah Potongan Melintang, beberapa factor yang berubah mempengaruhi suksesi tumbuhan yang terdaftar, tanda panah menunjukkan factor-faktor yang meningkat pada bagian atas, tumbuhan dominan pada masing-masing asosiasi jumlah spesies tumbuhan dan serangga.

Penelitian lainnya tentang suksesi serangga dan arthropoda lainnya termasuk kumbang, harimau, lahan bukit berpasir (Shelfora, 1907). Pseudoscorpions pada pasir pinggir sungai, serangga pada perkebunan pinus. Suksesi Disebabkan oleh 2 faktor penting yakni : 1) Spesies yang tiba pada satu lokaso akan merubah lokasi tersebut dan akan memberikan lingkungan yang baik bagi spesies lain yang kurang menyenangkan bagi spesies yang perama menempati lokasi. Misalnya : suatu tanaman yang mengkolonisasi tanah terbuka akan menimbulkan naungan dan menghasilkan bahan organic pada tanah yang mampu merubah texture dan kandungan hara tanah sehingga dapat menarik hewan lain termasuk serangga. Herbivora dapat juga memainkan peranan penting bagi suksesi

dalam merubah keseimbangan persaingan antara tanaman. Umumnya, beberapa spesies akan terlibat dalam dinamika suksesi karena merekalah yang menyebabkan perubahan dan spesies lain hanya bersifat pasif hanya memberikan respons pada perubahan. 2) Spesies yang tiba pada waktu yang berbeda akan menyebabkan perbedaan penyebaran koloni. Lahan yang terbuka akan dengan cepat dikoloni oleh tunas biji tanaman yang ada disekitarnya dan biji lainnya di bawa oleh angin. Biji yang lebih tidak akan terbawa angin dan akan menghasilkan tunas dengan kemampuan persaingan lebih tinggi dan dapat bertahan puluhan tahun.

2. Perkembangan Struktur Komunitas dan Organisasi

Dari sudut pandangan global, komunitas ekologi seolah-olah sering berada dalam keseimbangan dengan banyak spesies bertahan selama beberapa generasi di selurug area yang luas. Namun demikian bila komunitas tersebut di uji pada skala local, menjadi jelas bahwa individu-individu populasi dimana mereka disusun sering berbeda dengan strata yang tidak seimbang. Dua pertanyaan mengenai komposisi komunitas yang sering membingungkan para ekologiawan adalah :

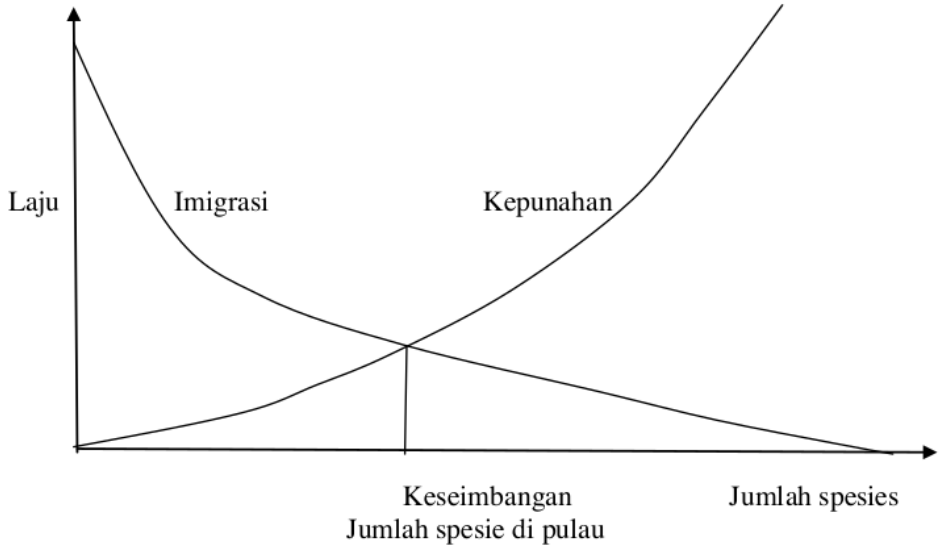
1. Faktor apakah yang menentukan jumlah spesies dalam suatu komunitas
2. Faktor apakah yang mendasari perubahan-perubahan di dalam komposisi suatu komunitas, dinyatakan melalui pengamatan secara dekat, dengan waktu yang ditempuh.

3. Model Biografi Pulau

Karena ukurannya yang kecil dan relative terisolasi, pulau kecil sering digunakan sebagai laboratorium yang dapat dengan sangat baik mempelajari proses evolusi dan proses-proses ekologi lainnya. Dari studi klasik yang telah dipublikasikan pada tahun 1963 Robert Mac Arthur dan E.O Wilson menggunakan pulau kecil sebagai suatu system model untuk menyelidiki komposisi dan stabilitas suatu komunitas. Mereka menghipotesiskan bahwa : jumlah spesies pada setiap pulau relative konstan sepanjang waktu tetapi identitas dari spesies yang ada terus menerus berubah.

Menurut proposal mereka, yang dikenal sebagai hipotesa keseimbangan biografi pulau, adanya keseimbangan antara laju imigrasi dari spesies yang baru ke suatu pulau

dangan laju kepunahan dari spesies local yang ada di pulau tersebut. Meskipun jumlah spesies berada dalam keadaan seimbang komposisi dari spesies adalah ketidakseimbangan, sebab apabila suatu spesies punah biasanya digantikan oleh spesies yang berbeda (Gambar 30).



Gambar 30. Model Keseimbangan Keragaman Spesies pada Suatu Pulau. Laju imigrasi menurun apabila lebih banyak spesies mencapai pulau karena spesies yang telah ada sebelumnya menjadi lebih mapan dan lebih mampu berkompetisi melawan spesies pendatang baru. Laju kepunahan meningkat jauh lebih cepat bilah jumlah spesies lebih tinggi disebabkan oleh meningkatnya kompetisi antara spesies. Keseimbangan jumlah spesies ditentukan oleh perpotongan kurva imigrasi dan kepunahan (Biologi Edisi ke 5, Curtis & Buenness, 1989, hal 1123).

b.Pengaruh Jauh/Jarak

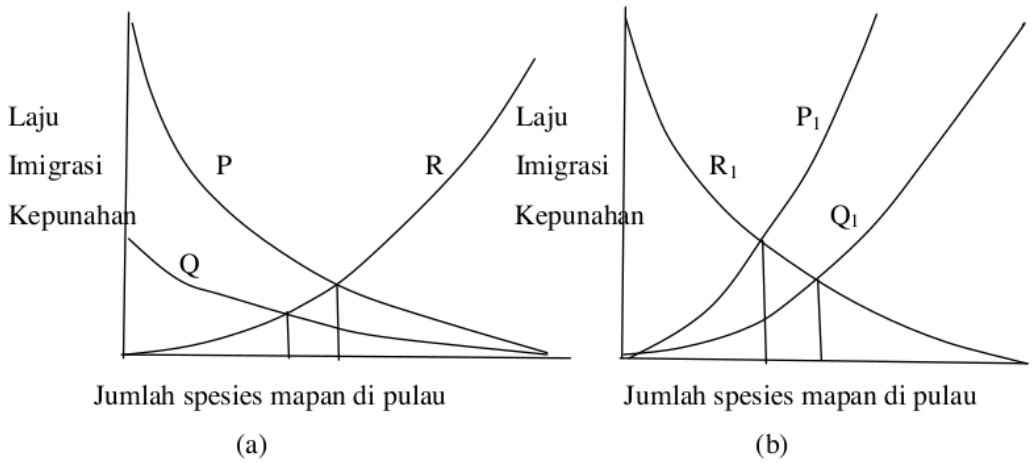
Menurut model biografi pulau, ada dua peubah yang sangat penting yang mempengaruhi keragaman spesies adalah ukuran dan jarak dari sumber potensial yang biasanya daratan utama yang dapat menyediakan koloniawan-koloniawan. Pulau-pulau yang jauh cenderung mempunyai keragaman spesies yang lebih rendah dari pulau-pulau yang terletak lebih dekat ke arah daratan utama. Hal ini disebabkan oleh laju imigrasi yang lebih rendah, yang kelihatannya merupakan fungsi dan jarak yang ditempuh oleh koloniawan. Pulau yang lebih kecil mencapai keseimbangan dengan jumlah spesies yang

lebih kecil dari pada pulau-pulau yang lebih besar (Gambar 31), terutama karena laju kepunahan adalah lebih tinggi pada pulau-pulau yang lebih kecil. Hal ini mungkin ini terjadi karena populasi cenderung lebih kecil pada pulau kecil, dengan demikian lebih peka terhadap pengaruh predasi dan gangguan lingkungan.

Pulau kecil, dengan demikian lebih peka terhadap pengaruh predasi dan gangguan lingkungan. Terdapat perbedaan yang sangat nyata dalam hal jumlah dan keragaman spesies pada tipe-tipe komunitas yang berbeda.Di antara yang sangat beragam adalah hutan-hutan tropis dan batu-batuan karang. Sampai ditempatkan sebagai contoh dari suatu status keseimbangan. Keseimbangan yang tinggi adalah fungsi bukan hanya dari stabilitasnya tetapi dari frekuensi dan besarnya gangguan yang dihadapi oleh spesies-spesies tersebut.

Gangguan-gangguan dapat mengambil banyak bentuk. Di hutan tropis sebagai contoh, pohon-pohon di rusak atau oleh topan, tanah longsong, sambaran petir, dan ledakan hama. Koral yang membentuk dasar dari komunitas koral (*coral reef*) dapat dibinasakan oleh predator,gelombang-gelombang yang hebat dan angin topan tropis yang menyertainya, serta pencampuran air tawar. Segera setelah gangguan, area yang terbuka (dari hutan atau reef) diserbu oleh bentuk-bentuk yang belum dewasa (biji, spora, larva atau bahan gamet).

Mula-mula keragaman di area yang baru dikolonisasi adalah rendah. Hanya spesies-spesies yang sangat dekat pada area gangguan yang dapat menghasilkan keturunan pada waktu mengeksploitasi area-area baru yang tersedia. Apabila sering terjadi gangguan, komunitas akan hanya terdiri atas spesies-spesies yang dapat menyerbu, berkembanga menjadi dewasa dan menghasilkan keturunan sebelum gangguan yang berikut terjadi. Menurut hipotesis gangguan intermediate (diantara 2 ekstrim), jika interval antara gangguan meningkat, keragaman spesies juga meningkat. Spesies-spesies yang dikeluarkan oleh adanya gangguan yang sering terjadi (sebab mereka lambat menjadi dewasa atau mempunyai kemampuan menyebar yang terbatas) sekarang mempunyai kesempatan untuk menglolonisasi. Namun, apabila interval antara gangguan-gangguan meningkat lebih lanjut, keragaman spesies dapat menjadi rendah (Gambar 31).



Gambar 31. Pengaruh Jarak Pulau dari Sumber Potensial dan Pengaruh Ukuran Pulau Terhadap Jumlah Spesies Di Pulau. (a). Pulau yang lebih besar mempunyai keseimbangan jumlah spesies yang lebih besar daripada yang yang kecil, karena laju imigrasi lebi tinggi dan laju kepunahan lebih rendah di pulau-pulau besar. (b). Walaupun laju kepunahan tidak berbeda dengan jarak suatu pulau dari daratan utama sumber spesies, pulau yang terdekat lebih tinggi disbanding dengan pulau yang jauh.

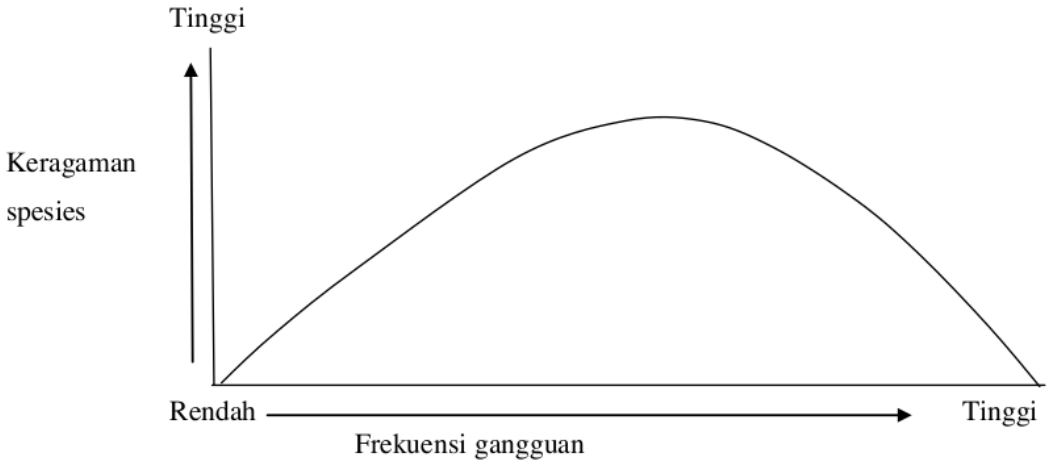
Keterangan : P = Imigrasi (pulau dekat); Q = Imigrasi (pulau jauh); R = Kepunahan; P_1 = Kepunahan (p. kecil); Q_1 = Kepunahan (p. besar); R_1 = Imigrasi.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa menurut hipotesis gangguan intermediate, keragaman spesies di dalam suatu komunitas ditentukan oleh frekuensi gangguan lingkungan. Apabila gangguan ini terjadi terlalu sering, atau sebaliknya terlalu jarang, keragaman spesies akan menjadi lebih rendah. Sebaliknya apabila frekuensi gangguan bersifat sedang (*intermediate*), keragaman spesies menjadi tinggi. Kurva yang sama diperoleh apabila keragaman spesies dipetakan terhadap waktu, sebagai gangguan terakhir dan terhadap besarnya gangguan (Gambar 32).

Kemungkinan factor utama penyebab penurunan spesies adalah kompetisi antar spesies, tetapi apabila semua spesies berkompetisi secara merata, spesies yang paling tahan terhadap pengaruh-pengaruh buruk dari ekstrim fisik, predasi atau penyakit akan mendominasi komunitas tersebut.

Di antara komunitas-komunitas terkecil yang membentuk sendiri adalah mereka yang didapati pada batu-batu yang besar dan bulat di lokasi zone intertidal di pantai-pantai.

Komunitas ini didominasi oleh algae (ganggang) yang tumbuh di permukaan batuan yang sering menjadi subyek dari banyak gangguan seperti ombak atau gelombang yang hebat yang dapat mengupas keluar algae tersebut. Sebagai hasilnya, batu telanjang menjadi tersedia untuk kolonisasi baik oleh pertumbuhan kembali secara vegetative dari individu-individu yang bertahan hidup, ataupun spora-spora yang berkecambah.



Gambar 32. Hipotesis Gangguan (Biologi; Edisi ke 5; Curtis & Barnnes, 1959, hl. 1124).

Dari rangkaian pengamatan secara rinci pada zone-zone intertidal di California Selatan, Wayne Sousa daru Universitas California Berkeley, menemukan bahwa batu-batu besar tidak dapat diputarbalikkan oleh ombak, didominasi oleh satu atau beberapa spesies algae yang khas (tertentu). Sebaliknya batu-batu yang berukuran sedang, cenderung mempunyai keragaman spesies yang besar. Sousa memperluas pengamatannya dengan membuat batu-batu menjadi lebih stabil, dengan demikian mengurangi jumlah gangguan ke mana mereka disubjekkan. Komunitas algae pada batu-batu yang stabil adalah kurang beragam disbanding algae yang tumbuh pada batu-batuan yang tidak stabil. Hal ini memberikan dukungan lebih lanjut pada hipotesis gangguan intermediate.

4. Komunitas Organisme

Empat ingkatan komunitas organisme:

1. *Noninteraktif*: tejadi ketika densitas populasi dan jumlah spesies terlalu rendah untuk menyebabkan kompetisi terhadap sumber daya alam, dan ketidakcukupan biomassa untuk predator dan parasit untuk mengeksploitasi secara efektif.
2. *Interaktif*: terjadi karena kompetisi, punahnya beberapa spesies dan mantapnya predator dabn parasitoid. Beberapa spesies akan mengalami kepunahan melalui interaksi ini, tetapi yang lainnya akan mengkolonisasi area, dan selama fase assortif, maka bagian spesies-spesies yang dapat hidup bersama dan menggunakan sumber daya alam secara paling efisien, merekalah yang tetap bertahan hidup.
3. *Assortif*: memisahkan spesies-spesies untuk hidup berdampingan secara efisien, dan efisiensi ini dalam komunitas membolehkan lagi spesies-spesies untuk berkumpul dalam daerah tersebut.
4. *Evolusioner*: lebih banyak dan lebih lama pohon yang tumbuh di pulau-pulau sehingga lebih banyak spesies yang hidup pada pohon tersebut.

Pertanyaan:

1. Apa yang dimaksud dengan suksesi
2. Jelasakan perbedaan suksesi primer dan suksesi sekunder.
3. Jelaskan awalnya terjadi suksesi tumbuhan dan serangga

BAB XII
KEANEKARAGAMAN HAYATI DAN KONSERVASI

1. Definisi dan Istilah

Kata biodiversitas pertama kali digunakan sebagai "Bio Diversitas" singkatan dari diversitas biologis = keanekaragaman hayati, pada tahun 1986 (Wilson, 1997). Biodiversitas dapat didefinisikan sebagai keanekaragaman diantara organisme hidup dari semua sumber termasuk inter alia, daratan, lautan dan ekosistem air lainnya dan kekompleksitas ekoogi dimana masuk didalamnya, hal ini termasuk keanekaragaman dalam spesies itu, diantara spesies dan ekosistem. (Konferensi Diversitas Biologi 1992).

Definisi oleh WWF (1989) adalah kekayaan hidup di bumi, jutaan tumbuhan, hewan dan mikroorganisme, genetika yang dikandungnya dan Biologi konservasi adalah ilmu multidisiplin yang dikembangkan sebagai tanggapan untuk menghadapi krisis keanekaragaman saat ini. (Soule 1985).

Biologi Konversi memiliki dua tujuan: 1). Mempelajari dampak dari kegiatan manusia pada spesies, komunitas dan ekosistem; 2). Mengembankan pendekatan praktis untuk menghindari kepunahan spesies dan, jika memungkinkan mengembalikan spesies yang terancam ke ekosistem yang masih berfungsi.

Jadi keanekaragaman harus dilihat dari tiga tingkatan: 1). Pada tingkatan *spesies* mencakup seluruh organisme di bumi, dari bakteri dan protista melalui dunia tumbuh-tumbuhan, hewan dan jamur; 2). Pada skala yang lebih kecil mencakup variasi *genetic* didalam spesies, diantara populasi; 3). Keanekaragaman hayati juga meliputi variasi di dalam *komunitas* biologi (dimana spesies hidup) dan *ekosistem* (dimana komunitas berada), dan interaksi antar tingkatan tersebut. Setiap tingkatan biologi penting bagi keberlangsungan hidup spesies dan komunitas alami, dan kesemuanya penting bagi manusia. Keanekaragaman spesies mewakili keanekaragaman adaptasi evolusi dan ekologi suatu spesies pada lingkungan tersebut.

Keanekaragaman spesies menyediakan bagi manusia sumber daya alternative, contohnya hutan hujan tropic dengan anekaragaman spesies menghasilkan berbagai macam tumbuh-tumbuhan dan hewan yang bisa digunakan untuk makanan, tempat bernaung, dan obat-obatan. Keanekaragaman genetic diperlukan oleh setiap spesies untuk menjaga

vitalitas reproduksi, ketahanan terhadap penyakit, dan kemampuan beradaptasi pada perubahan kondisi. Keanekaragaman genetic pada hewan dan tumbuhan peliharaan memiliki nilai tertentu bagi program pengembangbiakan untuk memelihara dan memperbaiki spesies pertanian modern. Keanekaragaman tingkat komunitas mewakili tanggapan spesies secara kolektif pada kondisi lingkungan yang berbeda. Komunitas biologi yang ditemukan di padang pasir, padang rumput, lahan basah dan hutan mendukung kelanjutan dari fungsi ekosistem yang menyediakan berbagai manfaat seperti control atas banjir, perlindungan dari erosi tanah, menyaring udara dan air.

Biologi konvservasi adalah disiplin ilmu yang dikembangkan untuk usaha menyelematkan spesies, membuat daerah konservasi baru, dan melindungi taman nasional yang ada dengan menentukan spesies mana akan terlindungi untuk masa depan. Biologi konversi adalah ilmu terapan dengan pendekatan teoritis terhadap perlindungan keanekaragaman hayati. Disiplin akademis dari biologi populasi, taxonomi, ekologi dan genetic membentuk inti dari biologi konservasi.

2. Distribusi Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman spesies dunia hewan adalah paling besar. Dari sejumlah 1.7 x 16 yang diketahui sekitar 45.000 adalah vertebrata, 250.000 adalah tumbuhan dan 950.000 (56 %) adalah serangga. Keanekaragaman Ordo serangga yang paling banyak adalah Coleoptera (300.000 spesies, 24 % dari semua spesies), diikuti oleh Diptra (85.000, 7%), Hymenoptera (110.000, 8 %) dan Lepidoptera (110.000, 9 %).

Keanekaragaman hayati terbesar ditemukan didaerah tropic. Walaupun daerah tropic hanya mencapai 7 % dari luas bumi, tapi lebih dari separuh spesies dunia dapat ditemukan disini. Perkiraan ini didasarkan atas perhitungan contoh serangga dan anthropoda lainnya, kelompok yang merupakan mayoritas spesies duna. Perkiraan jumlah serangga yang belum diteliti di hutan tropic berkisar antara 5 – 30 juta, 10 juta merupakan perkiraan yang aman pada waktu ini. Jika angka 10 juta ini benar maka itu berarti serangga dihutan tropic meliputi 90 % dari spesies dunia. Sekitar 40 % tumbuhan berbunga didunia ditemukan di hutan tropic, sedangkan 30 % spesies burung bergantung pada hutan tropis.

Stork (1991) mensurvei komunitas anthropoda dari 10 pepohonan hutan di Borneo (Kalimantan) menemukan 24.000 individu, bahwa kelompok yang paling berlimpah adalah

Hymenoptera 27 %, Diptera 22 %, Kumbang 17 % dan Hemiptera 11 %. Dari Hymenoptera, dua pertiganya adalah semut 18 %.

3. Ancaman Terhadap Biodiversitas

Suatu lingkungan yang sehat memiliki nilai ekonomi, keindahan dan etika yang sangat tinggi. Memelihara lingkungan yang sehat berarti menjaga semua komponennya dalam keadaan baik, ekosistem, komunitas dan spesies. Nilai cultural, estetik dan etik dapat diberikan pada keanekaragaman, dan dengan jelas manusia bergantung pada banyak tumbuhan dan hewan untuk dapat bertahan hidup.

Aspek kerusakan lingkungan yang paling serius adalah kepunahan spesies. Komunitas dapat terganggu dan menjadi sempit, tetapi selama semua spesies aslinya tetap ada, komunitas tersebut mempunyai kemampuan untuk kembali seperti semula. Secara global keanekaragaman spesies tertinggi terdapat pada periode geologi masa kini. Kelompok organisme serangga adalah perusak habitat. Ancaman-ancaman terhadap serangga di dominasi oleh ancaman yang berhubungan dengan habitat. Di Inggris, contohnya, ancaman terhadap kupu-kupu adalah expansi agricultural, penerbangan hutan, praktek-praktek pengelolaan habitat (penghutanan dan urbanisasi). Ancaman yang sama terhadap kumbang langka adalah praktek-praktek pengelolaan, penerbangan hutan, ekspansi agricultural, suksesi alami dan penyingkiran pohon-pohon yang sudah mati.

Diketahui 61 spesies serangga yang telah punah secara global semenjak 1600. (Groombridge 1992), sebuah presentase kecil (sekitar 0,006 – 0,0006 %) dari perkiraan jumlah total spesies serangga. Pada saat yang bersamaan, 23 reptil yang paling maju yaitu serangg, vertebrata, dan tumbuhan berbunga yang mencapai keanekaragaman tertinggi. Sekitar 30.000 tahun yang lalu. Namun, sejak saat ini kekayaan spesies telah berkembang bersamaan dengan bertambahnya populasi manusia. Pada saat ini, sebanyak 40 % dari tabel produktivitas primer yang berasal dari lingkungan terestial digunakan atau dibuang-buang oleh manusia, jumlah ini melewati 25 % dari produktivitas total bumi.

Ahli-ahli entomologi telah memperkirakan beragaman ancaman terhadap serangga, semua menyimpulkan bahwa yang merupakan ancaman paling serius adalah terhadap 32 ikan, 59 mamalia, 116 burung dan 596 tanaman telah punah. Prosentase yang lebih tinggi

lagi perkiraan sekitar 40 spesies dari invertebrata darat telah punah dalam 100 tahun terakhir.

Jelas gambaran dari jumlah spesies, kepunahan spesies serangga dapat dianggap remeh, dibandingkan dengan setiap mamalia, burung, tanaman yang telah punah, serangga semata-mata bergantung pada tumbuhan dan hewan sebagai host yang telah punah. Contohnya, mengikuti kepunahan dari merpati, *Ectopistes migratorius*, setidaknya 2 serangga, kutu *Columbicola extinctus* dan *Campanulotes defectus*, menjadi punah juga.

Pertanyaan

1) Jelaskan apa yang dimaksud dengan konservasi dan keanekaragaman hayati.
2) Jelaskan dengan ringkas hal-hal apa yang dapat mengancam biodiversitas.
3) Sebutkan dan jelaskan empat tingkatan organisme dalam komunitas.

DAFTAR PUSTAKA

Andrewartha, G.G.A. and L.C. Birch, 1984. The Ecological Web. More on the Distribution and Abundance of Animals of Animals. University of Chicago Press.

Kimbal, J.W., 1986. Biology (Ed.5). The Benyamin/Cummings Publishing Company, Inc.

Krebs, C.J., 1978. Ecology. The Experimenthal Analisis of Distribution and Abundance.Second Edition. Harper and Raw Publisher, New York etc, 678 p.

Martin, R.S., D.H. Mark, and D.W. Allan. 1999. Ecology of Insects. Concepts and Aplication.

Odum, E.P., 1971. Fundamenthals of Ecology. W.B. Saunders Co, Philadelphia etc.,574 p.

Price, P.W.,1975. Insect Ecology. John Wiley and Sons. New York etc., 514 p.

Ross, Enger, Otto, Kormelink, 1996. Diversity of Life. WBC. Wm. C. Brown Publisher

Sartje Rondonuwu-Lumanauw, 1998. Diktat Ekologi. Proyek Pengembangan Perguruan Tinggi Indonesia Timur Kerjasama Universitas Sam Ratulangi dan Canadian International Development Agency. Simon Fraser University.

Sembel, D.T., 1989. Dasar-Dasar Biologi dan Ekologi Dalam Pengendalian Serangga Fakultas Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi Manado. 1995. Pengendalian Serangga Hama Tanaman Buah-Buahan. UGM. Yogyakarta.

Southwood.T.R.E.,1976. Ecological Methods: with Particular References to the Study of Insect Population. (Ed. 2). Chapman and Hall, London.

Speight, M.R., M.D. Hunter, and A.D. Watt, 1999. Ecology of Insect: Concept and Applications.Blackwell Science Ltd, Oxford.

Tarumingkeng, R.C., 1994. Dinamika Populasi. Kajian Ekologi Kuantitatif. Pustaka Sinar HarapanUniversitas Kristen Kridawacana Jakarta.

Untung, K., 1984. Pengantar Analisis Ekonomi Pengendalian Hama Terpadu. Andi Offset, Yogyakarta.

_____, 1991. Dasar-Dasar Pengelolaan Hama Terpadu. Diktat. Universitas Gajah Mada (UGM). Yogyakarta.

_____, 1996. Pengantar Pengeloloan Hama Terpadu. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

Warouw, J., 1981. Dinamika Populasi Sexava nubila (Stal) (Orthoptera, Tettigonidae) Di Sangihe Talaud Dalam Hubungannya Dengan Kerusakan Tanaman Kelapa. Fakultas Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.

Walter, G.H. 2003. Insect Pest Management. Ecological Research. Cambridge University Press. The University of Queensland.

Wirakusumah, S. 2003. Dasar-Dasar Ekologi Bagi Populasi dan Komunitas. Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press). Jakarta.

Jusuf Manueke

Dilahirkan Di Desa Rerer Kecamatan Kombi Kabupaten Minahasa Provinsi Sulawesi Utara Tanggal 16 September 1958. Lulus Sekolah Dasar (SD) Negeri Rerer (Tahun 1972, Lulus Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri I Tondano Tahun 1975, Lulus Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri I Tondano Tahun 1975.

Diterima Sebagai Mahasiswa Fakultas Pertanian UNSRAT Manado Tahun 1979 dan Memperoleh Gelar Sarjana Pertanian Tahun 1985.

Diangkat sebagai Dosen Fakultas Pertanian UNSRAT Manado Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Tanggal 1 Maret 1987.

Tahun 1990 Melanjutkan Studi S2 (Magister) Di Program Pascasarjana UGM Yogyakarta Bidang Ilmu-Ilmu Pertanian Jurusan Ilmu Hama Tumbuhan dan Selesai Tahun 1993.

Tahun 2007 Melanjutkan Studi S3 (Doktor) Di Program Pascasarjana UNSRAT Manado dan Selesai Tahun 2012.

Juliet M. Eva Mamahit

Dilahirkan Di Tondano Kabupaten Minahasa Propinsi Sulawesi Utara tanggal 19 Februari 1967.

Lulus Sekolah Dasar (SD) Negeri IV Tondano tahun 1979. Lulus Sekolah Menengah Pertama (SMP) [illegible] Tondano tahun 1982, Lulus sekolah Menengah [illegible] Negeri I Manado tahun 1985.

Diterima sebagai Mahasiswa Fakultas [illegible] UNSRAT Manado tahun 1985 dan [illegible] Sarjana Pertanian Unsrat tahun 1990.

Diangkat sebagai Dosen Fakultas Pertanian [illegible] Manado, Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan tanggal [illegible] Maret 1991.

Tahun 1994 melanjutkan Studi S2 (Magister) di Program Pascasarjana KPK-IPB UNSRAT di Bidang Entomologi dan selesai tahun 1998.

Tahun 2003 melanjutkan studi S3 (Doktor) di Program Pascasarjana IPB Bogor dan selesai tahun 2009.

ISBN 978-602-6529-39-6

9 786026 529596

Penerbit
[illegible]

BUKU REFERENSI PENG. EKOL. SERANGGA

ORIGINALITY REPORT

5%	5%	1%	1%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	edoc.pub Internet Source	3%
2	text-id.123dok.com Internet Source	1%
3	www.scribd.com Internet Source	1%
4	pt.scribd.com Internet Source	1%

Exclude quotes	On	Exclude matches	< 1%
Exclude bibliography	On		