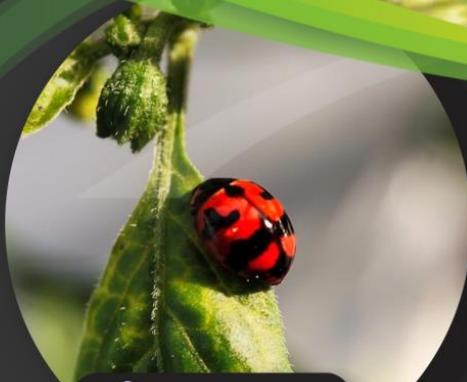


# Pengantar Ekologi Serangga



Siti Herlinda, Yulia Pujiastuti, Chandra Irsan, Riyanto,  
Arsi, Erise Anggraini, Tili Karenina, Lina Budiarti,  
Lilian Rizkie, Dian Maharani Octavia



**UNSRI  
PRESS**

Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

# Pengantar Ekologi Serangga

Editor & Penulis:

Siti Herlinda, Yulia Pujiastuti, Chandra Irsan, Riyanto, Arsi, Erise  
Angraini, Tili Karenina, Lina Budiarti, Lilian Rizkie, Dian  
Maharani Octavia



Penerbit & Percetakan Universitas  
Sriwijaya (UNSRI)

Anggota IKAPI

## Pengantar Ekologi Serangga

Editor & Penulis:

Siti Herlinda, Yulia Pujiastuti, Chandra Irsan, Riyanto, Arsi, Erise Angraini, Tili Karenina, Lina Budiarti, Lilian Rizkie, Dian Maharani Octavia

Hak Cipta © 2021 pada penulis

Dicetak oleh:

Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)/Unsri Press  
Anggota IKAPI

ISBN 978-979-587-956-5

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari penulis.



Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)  
Anggota IKAPI  
Kampus Unsri Bukit Besar, Jalan Srijaya Negara,  
Bukit Besar, Palembang Telpon/Faximili:  
+62711360969, Email: unsri.press@yahoo.com

Perpustakaan Nasional: Katalog dalam Terbitan (KDT)

Pengantar Ekologi Serangga: Siti Herlinda, Yulia Pujiastuti, Chandra Irsan, Riyanto, Arsi, Erise Angraini, Tili Karenina, Lina Budiarti, Lilian Rizkie, Dian Maharani Octavia. Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)/Unsri Press, 2021

v + 279 hlm: 16,20 cm x 22,90 cm

Bibliografi

ISBN 978-979-587-956-5

I. Judul

1. Pengantar Ekologi Serangga

2. Siti Herlinda, Yulia Pujiastuti, Chandra Irsan, Riyanto, Arsi, Erise Angraini, Tili Karenina, Lina Budiarti, Lilian Rizkie, Dian Maharani Octavia

## Daftar Isi

|   | Halaman |
|---|---------|
| Daftar Isi .....  | iii     |
| Kata Pengantar .....  | v       |
| Bab 1. Pendahuluan .....                                    | 1       |
| 1.1. Peran serangga dalam kehidupan manusia .....           | 2       |
| 1.2. Faktor-faktor yang mempengaruhi kehidupan serangga ... | 9       |
| Bab 2. Proses di Ekosistem Pertanian .....                  | 19      |
| 2.1. Aliran Energi .....                                    | 21      |
| 2.2. Siklus Biogeokimia.....                                | 23      |
| 2.3. Suksesi Ekologi .....                                  | 24      |
| 2.4. Evolusi Serangga .....                                 | 28      |
| Bab 3. Faktor Fisis yang Mempengaruhi Serangga .....        | 35      |
| 3.1. Iklim .....  | 36      |
| 3.2. Suhu .....   | 36      |
| 3.3. Lengah Udara.....                                      | 39      |
| 3.4. Curah Hujan.....                                       | 42      |
| 3.5. Cahaya dan Radiasi .....                               | 43      |
| 3.6. Angin dan Gerak Udara .....                            | 48      |
| 3.7. Topografis.....  | 49      |
| Bab 4. Faktor Biotis yang Mempengaruhi Serangga .....       | 53      |
| 4.1. Parasitisme dan Predatisme .....                       | 53      |
| 4.2. Resistensi .....                                       | 60      |
| 4.3. Kompetisi .....  | 65      |
| Bab 5. Faktor Makanan .....                                 | 75      |
| 5.1. Perilaku dan Cara Serangga Makan.....                  | 75      |
| 5.2. Kualitas dan Kuantitas Makanan .....                   | 82      |
| 5.3. <i>Artificial Diet</i> (Pakan Buatan) .....            | 83      |
| Bab 6. Harkat Populasi Serangga .....                       | 95      |
| 6.1. Populasi .....   | 95      |
| 6.2. Tumbuh Populasi.....                                   | 108     |
| 6.3. Indeks atau Eksponen r.....                            | 111     |
| 6.4. Taraf Kejenuhan Populasi .....                         | 116     |
| 6.5. Fluktuasi Populasi dan Goncangan Siklis.....           | 121     |
| Bab 7. Pengendalian Populasi Serangga .....                 | 131     |
| 7.1. Faktor-faktor Pemantap Padat Populasi Serangga .....   | 138     |
| 7.2. Faktor-faktor Bertautan Padat.....                     | 139     |

|  |     |
|--|-----|
| 7.3. Natalitas atau Keperidian.....                                  | 142 |
| 7.4. Mortalitas dan Panjang Umur .....                               | 144 |
| 7.5. Pembagian Umur dalam Populasi.....                              | 145 |
| 7.6. Perbandingan Kelamin ( <i>Sex Ratio</i> ).....                  | 146 |
| 7.7. Pemencaran Populasi ( <i>Population Dispersal</i> ) .....       | 147 |
| 7.8. Kemampuan Berbiak sebagai Faktor Bertautan-Padat .....          | 148 |
| 7.9. Faktor-faktor Bertautan-Padat sebagai Faktor Pembatas ..        | 151 |
| 7.10. Sebab Musabab Intrinsik .....                                  | 153 |
| 7.11. Hubungan Intra- dan Inter-spesies .....                        | 155 |
| Bab 8. Adaptasi dan Alat Pelindung Serangga .....                    | 165 |
| 8.1. Pendahuluan .....   | 165 |
| 8.2. Adaptasi Perilaku.....  | 167 |
| 8.3. Adaptasi Morfologi.....   | 174 |
| 8.4. Adaptasi Fisiologis .....                                       | 179 |
| Bab 9. Metode Sampling Bioekologi Serangga .....                     | 191 |
| 9.1. Pendahuluan .....   | 191 |
| 9.2. Teknik Sampling Random .....                                    | 196 |
| 9.3. Teknik Sampling Non-Random.....                                 | 205 |
| 9.3. Ukuran Sampel dan Waktu Sampling.....                           | 207 |
| Bab 10. Metode Analisis Keanekaragaman Serangga .....                | 217 |
| 10.1. Serangga dalam Ekosistem.....                                  | 218 |
| 10.2. Keanekaragaman Musuh Alami .....                               | 221 |
| 10.3. Indeks Keanekaragaman.....                                     | 225 |
| 10.4. Indeks Kemiripan Spesies .....                                 | 229 |
| 10.5. Faktor Mempengaruhi Keanekaragaman Serangga .....              | 231 |
| Bab 11. Layanan Ekosistem dan Perubahan Global Kehidupan Serangga .. | 244 |
| 11.1. Pendahuluan .....  | 244 |
| 11.2. Peran Keanekaragaman dalam Jasa Ekosistem .....                | 248 |
| 11.3. Layanan Jasa Ekosistem Serangga .....                          | 249 |
| 11.4. Layanan Jasa Ekosistem dari <i>Edible Insects</i> .....        | 256 |
| 11.5. Perubahan Global terhadap Kehidupan Serangga .....             | 259 |
| Glosarium.....   | 269 |
| Biodata Penulis .....  | 275 |

## Kata Pengantar

Penyusunan buku ajar ini dilatarbelakangi oleh masih terbatasnya buku pegangan tentang ekologi serangga yang berbahasa Indonesia. Penyusunan buku ajar ini juga dilatarbelakangi oleh tuntutan kurikulum nasional untuk menjadikan mata kuliah Ekologi Serangga wajib bagi mahasiswa Program Sarjana Proteksi Tanaman dan mata kuliah pilihan untuk program studi di bawah lingkup Fakultas Pertanian di Indonesia. Isi buku ini sebagian juga dapat dijadikan pengantar pada mata kuliah Dasar-dasar Perlindungan Tanaman; Pengendalian Hama Terpadu; dan Pengendalian Hayati dan Pengelolaan Habitat. Buku ini juga dapat dipergunakan sebagai referensi bagi para peneliti dan praktisi, dan petugas/pelaksana lapangan yang ingin lebih memperdalam ilmu tentang ekologi serangga.

Buku ini membahas pengetahuan dasar mengenai hubungan antara serangga dan lingkungannya, faktor-faktor yang berperan dalam perkembangan populasi dan sejarah kehidupannya, serta dinamika interaksi serangga-tanaman, antar populasi dan komunitas serangga, termasuk implikasi dari perubahan global terhadap kehidupan serangga. Penulis menyadari bahwa isi buku ajar ini masih jauh dari sempurna sehingga masih diperlukan perbaikan dan penyempurnaan. Ilmu pengetahuan tentang ekologi serangga akan terus berkembang dan materi yang ditulis pada buku ini akan terus mengalami perubahan seiring dengan dengan pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan tentang ekologi serangga.

Atas diterbitkannya buku ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Rektor Universitas Sriwijaya dan Dekan dan Wakil Dekan Bidang Akademik (Prof. Ir. Filli Pratama, M.Sc., (Hons), Ph.D.), Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya yang telah memberikan kesempatan dan dorongan dalam penulisan buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi pengembangan konsep ekologi serangga di Indonesia.

Desain grafis cover buku Pengantar Ekologi Serangga ini dibuat oleh Yan Wenli Situmorang dan foto hasil jepretan Kevin Christian Bakkit Pakpahan, mahasiswa Program Studi Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya. Kami mengucapkan terima kasih

kepada kedua mahasiswa tersebut atas kesediaannya mendesain dan menyiapkan foto cover buku ini.

Palembang, 30 Maret 2021  
Atas nama penulis,

Prof. Dr. Ir. Siti Herlinda, M.Si.

# Bab 1

## Batasan dan Ruang Lingkup Ekologi Serangga

**Siti Herlinda**

**Program Studi Proteksi Tanaman, Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya, Jalan Raya Palembang-Prabumulih, km 32, Indralaya 30662, Ogan Ilir, Sumatera Selatan, Indonesia. Email: sitiherlinda@unsri.ac.id**

Ekologi berasal dari kata oikos dan logos. Oikos berarti rumah atau tempat hidup, sedangkan logos berarti ilmu sehingga ekologi berarti ilmu yang mempelajari hubungan antara makhluk hidup dengan tempat hidup atau lingkungannya. Ekologi serangga berarti ilmu yang mempelajari tentang serangga dan interaksinya dengan tempat hidup atau lingkungan atau ekosistem (Price, 1997).

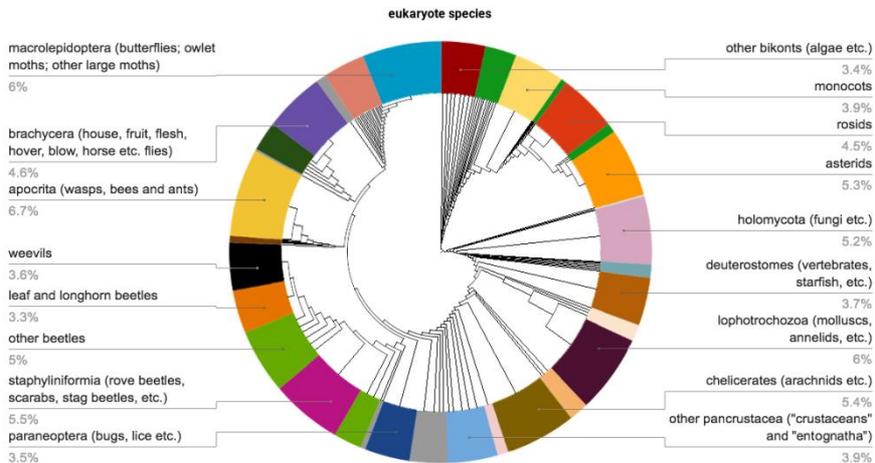
Pembagian ekologi serangga menurut banyaknya spesies, yaitu autekologi dan sinekologi (Price, 1997). Autekologi mempelajari hubungan individu-individu dalam satu spesies serangga dengan lingkungan sekitarnya, misalnya siklus hidup *Spodoptera frugiperda* pada suhu tertentu. Sinekologi adalah mempelajari hubungan sekelompok spesies organisme (komunitas) dengan lingkungan sekitarnya, misalnya mempelajari tentang keanekaragaman spesies serangga tanah, struktur komunitas serangga pada tajuk tanaman padi. Saat ini pendekatan dalam pengelolaan ekosistem skala lanskap telah banyak dipelajari dalam ekologi lanskap (*landscape ecology*). Perubahan paradigma dalam pengelolaan peledakan populasi serangga fitofag (hama) saat ini mulai banyak mengarah kepada pengelolaan skala lanskap dengan memperdayakan layanan ekosistem (*ecosystem services*). Layanan ekosistem yang dikaji dalam ekologi lanskap ini merupakan layanan yang disediakan oleh ekosistem yang sehat karena proses-proses di ekosistem bekerja dengan baik.

Penjenjangan sistem kehidupan serangga dinyatakan dalam level ekologi, yaitu individu, populasi, komunitas, ekosistem, dan biosfir (Begon, Harper and Townsend, 1986). Sebagai individu, serangga tersusun dari genetik unik yang membedakannya dengan genetik individu lainnya. Kumpulan individu satu spesies tertentu yang menempati tempat dan waktu yang sama membentuk satu populasi. Spesies adalah kelompok individu atau populasi yang dapat melakukan kopulasi antar mereka (*interbreeding*) dan mampu menghasilkan keturunan fertil, serta terisolasi secara reproduksi dari spesies lainnya. Beberapa spesies yang hidup bersama pada tempat dan waktu yang sama dapat membentuk suatu komunitas (Untung, 2006). Dalam komunitas dapat ditemukan sekumpulan spesies-spesies yang mengeksploitasi sumberdaya yang sama dengan cara yang sama membentuk suatu kelompok fungsional (*guilds*) (Price, 1997). Komunitas berinteraksi dan dipengaruhi oleh faktor lingkungan membentuk suatu ekosistem. Dengan demikian, ekosistem adalah suatu sistem yang terbentuk karena adanya interaksi antara makhluk hidup (biotik) dan abiotik. Unsur-unsur komunitas atau makhluk hidup tersebut dapat berupa tumbuhan, fitofag, parasitoid, serangga predator, penyerbuk, dan pengurai, sedangkan unsur-unsur abiotik dapat berupa suhu, kelembaban udara, angin, cahaya, hujan, hara dan mineral tanah. Ekosistem-ekosistem dapat membentuk bioma yang memiliki tipe vegetasi yang sama, misalnya hutan subtropis, tropis, tundra. Semua bioma yang ada di muka bumi ini membentuk satu sistem yang disebut biosfir.

## 1.1. Peran Serangga dalam Kehidupan Manusia

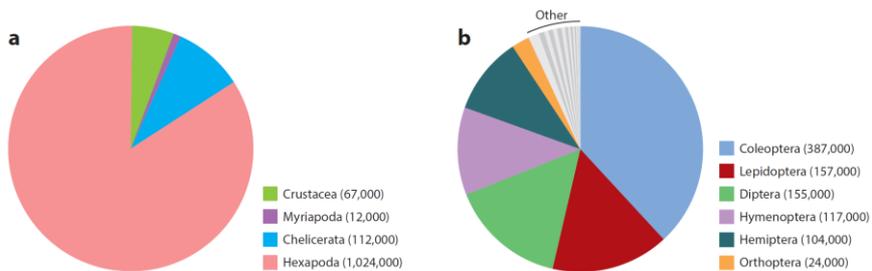
Serangga dipelajari secara khusus dalam entomologi. Entomologi berasal dari kata *entomon* berasal dari bahasa Yunani yang berarti irisan atau potongan dan *logos* yang berarti ilmu. *Entomon* juga disebut sebagai *insectum* berasal dari bahasa Latin yang artinya potongan (Harper and McCormack, 2012). Serangga memiliki ciri khas, tubuhnya terdiri dari tiga ruas, yaitu kepala, toraks, dan abdomen. Tungkai serangga ada tiga pasang, dan sistem pernafasannya menggunakan trakea. Entomologi menarik untuk dipelajari karena serangga merupakan golongan makhluk hidup yang paling banyak menghuni permukaan bumi ini dibandingkan makhluk hidup lainnya. Dari seluruh spesies eukaryote, separuh lebih merupakan spesies serangga (Gambar 1.1) dan serangga mendominasi subphyla lainnya (Zhang, 2011).

Serangga dapat menghuni berbagai penjuru dunia tanpa batas. Serangga dapat hidup di permukaan tanah dan di dalam tanah, air, dan salju. Serangga dapat menghuni daerah dingin hingga panas. Serangga telah menghuni permukaan bumi sejak 396 juta tahun lalu (Engel and Grimaldi, 2004).



Gambar 1.1. Proporsi spesies serangga menempati lebih dari separuh jumlah spesies eukaryote

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Eukaryote\\_species\\_pie\\_tree.png](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Eukaryote_species_pie_tree.png)



Gambar 1.2. Proporsi subphyla artropoda (a) dan ordo serangga (b) (Zhang, 2011)

Serangga diciptakan pasti memiliki manfaat untuk manusia. Untuk itu kita perlu memahami apa saja peran serangga bagi manusia di muka bumi ini.

Serangga berperan penting di bidang pertanian, perikanan, peternakan, industri, seni, budaya, dan peradaban manusia. Dari banyak peran serangga tersebut, buku ini lebih fokus menyajikan tentang bagaimana peran serangga di bidang pertanian, perikanan, peternakan, dan industri.

Di bidang pertanian, serangga dapat berperan sebagai fitofag, serangga predator, parasitoid, vektor penyakit tumbuhan, dan penyerbuk. Sebagai fitofag serangga menyerang tanaman dengan cara menusuk dan mengisap (tipe alat mulut haustelata) ataupun menggigit dan mengunyah (tipe alat mulut mandibula) tumbuhan inangnya. Ordo serangga yang spesies anggotanya banyak berperan sebagai fitofag, antara lain adalah Lepidoptera, Hemiptera, Orthoptera, Diptera, Coleoptera (Herlinda, Prabawati, *et al.*, 2020; Karenina *et al.*, 2020). Serangga fitofag ini dikatakan telah berperan sebagai hama bila kerusakan yang diakibatkannya telah merugikan secara ekonomis. Contoh beberapa spesies fitofag yang berperan sebagai hama adalah wereng batang coklat (*Nilaparvata lugens*) (Herlinda, Apriyanti and Anggraini, 2018) yang menyerang tanaman padi, lalat buah cabai (*Bactrocera dorsalis*) (Herlinda *et al.*, 2008; Pujiastuti *et al.*, 2020), *Spodoptera frugiperda*, dan *Nezara vidula* (Gambar 1.3).

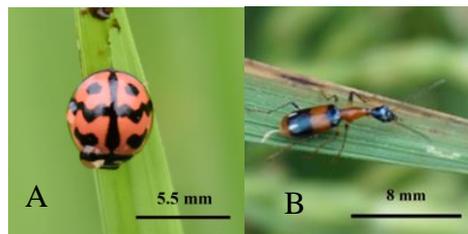
Serangga predator berperan penting menekan populasi fitofag yang telah berfungsi sebagai hama ataupun masih di bawah keseimbangan umum. Serangga predator memangsa dengan cara menggigit dan mengunyah atau menusuk dan mengisap mangsanya. Ordo serangga yang spesies anggotanya banyak berperan sebagai predator, antara lain adalah Coleoptera, Odonata, Hemiptera. Contoh beberapa spesies yang berperan sebagai predator adalah *Paederus fuscipes* dan *Andrallus spinindens* (Herlinda *et al.*, 2019), *Menochilus sexmaculatus*, dan *Ophionea nigrofasciata* (Gambar 1.4) (Karenina *et al.*, 2019).

Parasitoid juga berperan penting dalam menekan populasi fitofag. Parasitoid merupakan serangga yang memarasit dengan cara mengisap cairan tubuh serangga atau arthropoda inangnya dan mematikan inang tersebut. Ordo serangga yang spesies anggotanya banyak berperan sebagai parasitoid, antara lain adalah Hymenoptera dan Diptera. Contoh beberapa spesies serangga yang berperan sebagai parasitoid adalah *Hemiptarsenus varicornis* yang memarasit larva pengorok daun *Liriomyza sativae* (Herlinda *et al.*, 2006) dan *Tryoxis sinensis* yang menyerang nimfa *Aphis gossypii* (Herlinda *et al.*, 2011), *Telenomus remus* memarasit telur *S. frugiperda* (Gambar 1.5) (Sari, Buchori and Nurkomar, 2020).

Serangga yang berperan sebagai vektor penyakit tumbuhan umumnya lebih membahayakan tumbuhan inang karena perannya ganda sebagai fitofag yang menyerang langsung tanaman dan juga menularkan patogen penyebab penyakit pada tumbuhan. Serangga yang banyak berperan sebagai vektor penyakit tumbuhan adalah serangga yang memiliki tipe alat mulut menusuk mengisap, misalnya dari Ordo Hemiptera. Contoh spesies yang berperan sebagai vektor penyakit tumbuhan adalah *N. lugens* (Gambar 1.6) yang menularkan penyakit virus kerdil pada padi (Huang *et al.*, 2015; Raya and Java, 2017) dan *A. gossypii* yang menularkan *cucumber mosaic virus* (CMV) pada cabai (Shah *et al.*, 2008).



Gambar 1.3. Spesies fitofag: *Spodoptera frugiperda* (A) dan *Nezara vidula* (B)



Gambar 1.4. Spesies serangga predator: *Menochilus sexmaculatus* (A) dan *Ophionea nigrofasciata* (B) (Karenina *et al.*, 2019)



Gambar 1.5. *Telenomus remus* sedang memarasit telur *Spodoptera frugiperda* (Sari, Buchori and Nurkomar, 2020)



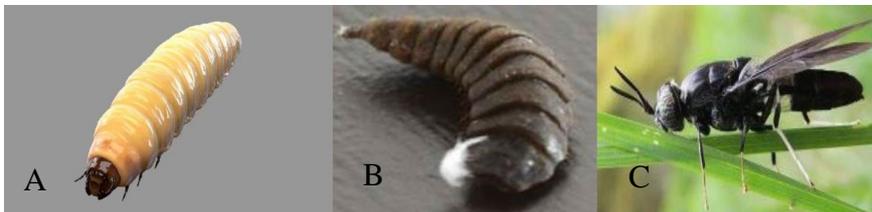
Gambar 1.6. Imago wereng batang coklat (*Nilaparvata lugens*) (Sumikarsih, Herlinda and Pujiastuti, 2019)

Serangga penyerbuk pada tumbuhan berperan penting untuk dalam meningkatkan produktivitas tanaman. Ketiadaan serangga penyerbuk dapat menyebabkan terjadinya penurunan produksi buah dan biji-bijian. Ordo serangga yang banyak berperan sebagai penyerbuk, antara lain Ordo Lepidoptera, Diptera, Hymenoptera, Coleoptera. Contoh spesies yang berperan sebagai penyerbuk, antara lain *Apis* sp., *Polites fuscata*, *Trigona* sp. (Widhiono and Sudiana, 2015), dan *Xylocopa* sp. (Gambar 1.7).

Di bidang perikanan dan peternakan, serangga dapat berperan sebagai sumber pakan karena mengandung protein dan karbohidrat yang dibutuhkan oleh ikan atau ternak. Contoh larva serangga yang dapat dijadikan pakan ikan dan hewan laut, yaitu *Hermetia illucens* (Ula *et al.*, 2018) (Gambar 1.8) yang mengandung protein hingga 52.79% (Herawati, Windarto and Rismaningsih, 2020). *H. illucens* juga dapat dijadikan pakan ternak (Mokolensang, Hariawan and Manu, 2018).



Gambar 1.7. Penyerbuk dari ordo Hymenoptera, *Xylocopa* sp.



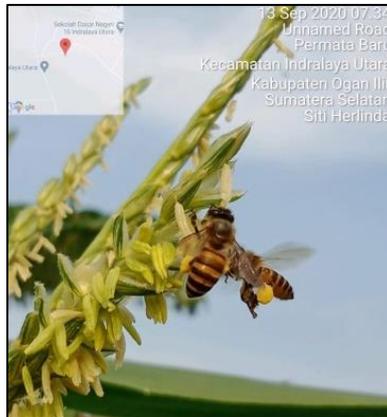
Gambar 1.8. Larva (A), pupa, dan imago *Hermetia illucens* (Mokolensang, Hariawan and Manu, 2018)

Serangga juga berperan penting dalam industri. Contohnya adalah ulat sutera (*Bombyx mori*) (Muscle, 2020) yang dapat menghasilkan sutera (Gambar 1.9) untuk industri pakaian. Kutu lak (*Laccifer lacca* Kerr) juga berperan penting dalam industri misalnya untuk industri obat ataupun resin (Kadha, Supriyanto and Haneda, 2019). Kutu lak hidup pada tumbuhan inang dan menghasilkan lak pada cabang/ranting tumbuhan inangnya dengan cara membungkus cabang tersebut dengan lak dan yang menjadi tumbuhan inangnya, antara lain kesambi (*Schleicsera oleosa*) (Suryanto, Supriyanto and Haned, 2018). Serangga juga dapat menghasilkan madu yang salah satu lebah bersengat, antara lain *Apis cerana* dan *Apis melimera* dan yang tidak bersengat (*stingless*

*bee*) (Sayusti *et al.*, 2021). Lebah pekerja betina berperan mengumpulkan nektar dan serbuk sari dari tumbuhan inangnya (Gambar 1.10).



Gambar 1.9. Kokon ulat sutera (*Bombyx mori*)



Gambar 1.10. Lebah pekerja sedang mengumpulkan nektar dan serbuk sari

## 1.2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kehidupan Serangga

Dalam mempelajari kehidupan serangga, kita perlu memahami faktor-faktor yang mempengaruhi serangga. Serangga memiliki hubungan yang erat dan kompleks dengan faktor lingkungan di sekitarnya. Serangga yang dipelajari secara spesifik di bidang ilmu Entomologi, namun untuk mempelajari Entomologi secara komprehensif kita memerlukan ilmu-ilmu lain. Ilmu-ilmu yang terkait tersebut antara lain agronomi, botani, mikrobiologi, ilmu tanah, iklim dan cuaca dan lain-lain.

Banyak faktor yang mempengaruhi kehidupan serangga, dari banyak faktor tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu 1) faktor dalam (*internal or intrinsic factors*), dan 2) faktor luar (*external or environmental factors*) (Begon, Harper and Townsend, 1986). Faktor dalam berasal dari dalam tubuh serangga itu sendiri terdiri dari: a) keperidian, b) sifat mempertahankan diri, c) nisbah kelamin, d) siklus hidup, e) umur imago. Faktor luar merupakan faktor lingkungan yang berasal dari luar tubuh serangga. Faktor luar terdiri dari: a) faktor fisik (*physical factors*), b) faktor biotik (*biotic factors*), dan c) faktor makan (*nutritional factors*). Faktor luar yang termasuk faktor fisik, yaitu suhu, kelembaban/hujan, cahaya/warna/bau, dan angin. Faktor luar yang termasuk faktor biotik, yaitu predator, parasitoid, patogen, dan kompetisi (intraspesifik dan interspesifik). Faktor makanan adalah kuantitas dan kualitas makanan (Price, 1997).

Keperidian (natalitas) atau fekunditas serangga merupakan kemampuan serangga dalam bereproduksi atau melahirkan atau memproduksi telur. Keperidian serangga dipengaruhi faktor internal, yaitu genetik setiap spesies. Spesies serangga berstrategi reproduksi r (r-selection) atau populasi oportunistik (*opportunistic population*) umumnya memiliki keperidian lebih tinggi atau jumlah anak yang diproduksi lebih tinggi dibandingkan serangga yang hidupnya berstrategi reproduksi K (K-selection) (Price, 1997). Contoh serangga yang memiliki keperidian yang tinggi adalah wereng batang coklat (*N. lugens*) (Baehaki, 2017) dan serangga yang memiliki keperidian rendah contohnya kumbang Carabidae (Akhil and Thomas, 2018).

Sifat mempertahankan diri merupakan faktor internal yang dimiliki serangga yang mempengaruhi kehidupan atau perkembangan serangga. Sifat mempertahankan diri umumnya bertolak belakang dengan sifat keperidian. Serangga yang memiliki fekunditas tinggi cenderung memiliki sifat mempertahankan diri lebih rendah dibandingkan dengan serangga yang memiliki fekunditas rendah (Price, 1997). Serangga yang memiliki kemampuan mempertahankan diri tinggi umumnya mampu melindungi dirinya dari musuh alaminya ataupun pesaingnya, misalnya kumbang Caribidae mengeluarkan cairan panas ( $\pm 100^\circ\text{C}$ ) beracun dari ujung abdomennya untuk mengusir atau melindungi diri dari musuhnya (Akhil and Thomas, 2018).

Nisbah kelamin merupakan perbandingan antara jumlah jantan dan betina yang diproduksi oleh induk betina dalam satu kali bereproduksi (satu *cohort*). Serangga umumnya memiliki insting lebih banyak memproduksi keturunan betina (female bias) dibandingkan keturunan jantan (Marques *et al.*, 2016). Setiap serangga memiliki nisbah kelamin yang bervariasi yang dipengaruhi faktor genetik/intrinsik dan faktor luar, antara lain suhu. Misalnya, proporsi keturunan betina *S. frugiperda* lebih tinggi pada suhu rendah, dan akan turun proporsinya dengan semakin tinggi suhu lingkungannya. Pada suhu  $19^\circ\text{C}$  proporsi betina 54.1%, sedangkan pada suhu  $31^\circ\text{C}$  proporsi betina turun menjadi 50.2% (Huang *et al.*, 2021).

Siklus hidup serangga adalah rangkaian fase-fase hidup suatu serangga yang dimulai dari fase telur, pradewasa, hingga imago meletakkan telur (Price, 1997). Siklus hidup serangga memiliki fase-fase yang bervariasi tergantung metamorfosis yang dialami oleh serangga tersebut. Selain itu, lama siklus hidup bervariasi juga tergantung spesies serangga dan pengaruh faktor lingkungan (eksternal). Siklus hidup serangga yang mengalami metamorfosis sempurna (holometabola) memiliki fase telur, larva, pupa, dan imago. Siklus hidup serangga yang mengalami metamorfosis paurometabola memiliki fase telur, nimfa, dan imago, sedangkan hemimetabola memiliki fase telur, naiad, dan imago. Lamanya siklus hidup serangga yang berstrategi reproduksi r cenderung lebih singkat dibandingkan serangga yang berstrategi reproduksi K. (Begon, Harper and Townsend, 1986). Faktor luar yang mempengaruhi siklus hidup serangga, antara lain suhu, semakin tinggi suhu, maka siklus hidup serangga semakin singkat (Huang *et al.*, 2021).

Umur imago serangga mempengaruhi perkembangan hidup serangga. Semakin lama umur imago betina, maka semakin tinggi kesempatan imago

bertemu jantan dan bereproduksi menghasilkan keturunan. Umur imago yang singkat umumnya dimiliki oleh serangga yang berstrategi reproduksi r, sedangkan serangga yang berstrategi K umurnya lebih panjang (Price, 1997). Namun, serangga berstrategi r memiliki keturunan yang lebih banyak dibandingkan serangga berstrategi K (Begon, Harper and Townsend, 1986).

Suhu yang merupakan faktor luar dapat mempengaruhi kehidupan/perkembangan serangga. Semakin tinggi suhu, semakin cepat metabolisme serangga, dan semakin cepat pertumbuhan dan perkembangan serangga. Suhu tubuh serangga mengikuti suhu lingkungannya, bila suhu lingkungan meningkat, maka suhu tubuh serangga juga meningkat. Setiap species serangga beradaptasi dengan kisaran suhu yang bervariasi. Serangga yang mampu hidup dengan kisaran suhu luas disebut serangga *eurythermal*, sedangkan serangga yang mampu hidup dengan kisaran suhu sempit disebut serangga *stenothermal* (Price, 1997). Kisaran suhu bagi serangga terdiri dari: a) daerah suhu maksimum, b) daerah suhu zona estivasi, c) daerah suhu optimum atau efektif, d) daerah suhu zona hibernasi, e) daerah suhu minimum (Odum, 1971). Pada daerah suhu maksimum dan minimum serangga tidak dapat hidup. Serangga masih dapat bertahan hidup di suhu tinggi tetapi tidak aktif disebut estivasi atau diapause, sedangkan masih dapat bertahan hidup di suhu rendah tetapi tidak aktif disebut hibernasi. Daerah suhu optimum atau efektif merupakan kisaran suhu ideal untuk hidup serangga.

Kelembaban atau hujan juga dapat mempengaruhi kehidupan serangga. Produk pertanian, seperti gabah, beras bila disimpan dalam kondisi lembab sangat disukai serangga hama gudang. Hujan secara mekanik dapat menghanyutkan larva, nimfa, atau imago sehingga dapat mematikan dan mengurangi populasi serangga. Tanah yang lembab dan tergenang dapat mematikan telur, larva, dan pupa di dalam tanah.

Cahaya atau warna dan bau mempengaruhi kehidupan serangga. Serangga yang tertarik pada cahaya umumnya adalah serangga yang aktif di malam hari (*nocturnal*) (Pathak and Khan, 1994). Karena ketertarikan serangga terhadap cahaya di malam hari, maka untuk menangkap dan memonitor serangga di lapangan dapat digunakan lampu perangkap (Ying-jie *et al.*, 2020). Warna-warna yang disukai serangga umumnya putih atau kuning. Untuk imago *S. frugiperda* tertarik dengan warna hijau, kuning, putih dan merah (Nascimento *et al.*, 2018). Bau dapat mempengaruhi perilaku serangga. Serangga monofag atau oligofag menyukai tumbuhan inang tertentu sesuai bau dan warna tumbuhan inangnya. Tumpangsari antar dua spesies atau lebih tanaman yang

berasal dari famili yang berbeda dapat mengganggu penciuman serangga monofag dan oligofag karena bau tumpangsari tanaman tersebut menyebabkan dihasilkan bau campuran yang sulit dideteksi oleh serangga fitofag tersebut.

Angin mempengaruhi penyebaran serangga. Serangga umumnya akan melawan arah angin bila mencari sumber pakannya. Angin yang membawa aromanya ke serangga menyebabkan serangga melawan arah angin untuk menemukan tumbuhan inangnya. Penyebaran serangga dapat mengikuti arah angin bertiup. Serangga berukuran kecil seperti kutudaun mudah terbawa angin dan dapat menyebar jauh.

Predator adalah hewan yang memangsa serangga atau hewan lainnya. Predator yang menyerang serangga dapat berasal dari vertebrata atau invetebrata. Predator dapat mempengaruhi perkembangan populasi serangga, antara lain adalah kelelawar, laba-laba, ataupun serangga predator. Predator yang paling banyak menyerang serangga fitofag berasal dari artropoda, yaitu laba-laba dan serangga predator. Artropoda predator dari kelompok laba-laba, contohnya *Pardosa pseudoannulata* terbukti efektif menekan populasi *N. lugens* (Daravath and Chander, 2017). Serangga predator yang menyerang serangga fitofag, contohnya *Podisus nigrispinus* yang menyerang larva *S. frugiperda* (Zanuncio *et al.*, 2008).

Parasitoid berperilaku mirip parasit, namun parasitoid mematikan inangnya sedangkan parasit tidak mematikan inangnya. Parasitoid dapat menurunkan populasi serangga fitofag. Parasitoid terbanyak berasal dari Ordo Hymenoptera. Contoh parasitoid *Aphis gossypii* adalah *Aphidius* sp., *Aphelinus* sp., *Diaretiella rapae* (Herlinda *et al.*, 2011; Riyanto *et al.*, 2011).

Entomopatogen merupakan patogen yang menyebabkan sakit dan mematikan pada serangga. Entomopatogen yang dapat membunuh serangga berasal dari jamur, bakteri, bakteri, nematoda, riketsia dan lain-lain. Jamur yang banyak menyerang serangga fitofag, antara lain *Beauveria bassiana* yang dapat mematikan *Spodoptera litura* (Ayudya, Herlinda and Suwandi, 2019; Gustianingtyas *et al.*, 2020; Herlinda, Efendi, *et al.*, 2020), *Aspergillus* sp. dapat menyerang larva *S. frugiperda* (Gustianingtyas, Herlinda and Suwandi, 2021), *Metarhizium* spp juga ditemukan dapat mematikan larva *S. frugiperda* (Herlinda, Octariati and Suwandi, 2020). Selain jamur, bakteri juga telah banyak terbukti efektif mematikan serangga fitofag, contohnya *Bacillus thuringiensis* (Bt) efektif membunuh larva *S. frugiperda* (Horikoshi *et al.*, 2016).

Kompetisi juga dapat mempengaruhi kehidupan serangga. Kompetisi terbagi dua, yaitu kompetisi intraspesifik dan interspesifik. Kompetisi intraspesifik terjadi antara individu dalam satu spesies. Kompetisi interspesifik terjadi antar dua atau lebih spesies (Price, 1997). Kompetisi menyebabkan terjadi penyebaran serangga menjauhi satu sama lain karena adanya keterbatasan daya dukung relung dan habitat. Kompetisi intraspesifik terjadi pada *S. frugiperda* yang memasuki instar kedua akan menyebar karena persaingan antar individu yang dapat menyebabkan kanibalisme bila tidak menyebar. Kompetisi interspesifik umum terjadi antara semut dengan serangga predator atau parasitoid. Keberadaan semut dapat mengganggu unjuk kerja musuh alami tersebut.

Faktor kuantitas dan kualitas makanan atau pakan mempengaruhi kehidupan serangga. Kuantitas makanan yang berlimpah dapat menyebabkan berlimpahnya populasi serangga. Contohnya pada penanaman padi dua musim tanam secara terus menerus dapat meningkatkan populasi serangga fitofag (Prabawati, Herlinda and Pujiastuti, 2019; Herlinda, Prabawati, *et al.*, 2020). Faktor kualitas makanan juga mempengaruhi kehidupan serangga, tanaman yang dipupuk dengan pupuk nitrogen secara berlebihan mengandung kadar air yang tinggi sehingga menyebabkan tanaman tersebut lebih disukai serangga fitofag. Namun, sebaliknya tanaman yang dipupuk dengan pupuk kalium menyebabkan jaringan tanaman menjadi lebih keras dan kuat sehingga dapat menghambat serangga fitofag menyeranginya.

### Daftar Pustaka

- Akhil, S. V. and Thomas, S. K. (2018) ‘Bombardier beetles (Coleoptera: Carabidae: Brachininae) of India – notes on habit, taxonomy and use as natural bio-control agents’, in *Frontiers in Biological Research*, pp. 1–25.
- Ayudya, D. R., Herlinda, S. and Suwandi, S. (2019) ‘Insecticidal activity of culture filtrates from liquid medium of *Beauveria bassiana* isolates from South Sumatra (Indonesia) wetland soil against larvae of *Spodoptera litura*’, *Biodiversitas*, 20(8), pp. 2101–2109. doi: 10.13057/biodiv/d200802.
- Baehaki, S. E. (2017) ‘The roles of predators suppress brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal in the ricefields’, *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 4(11), pp. 452–460. doi: 10.21276/sjavs.2017.4.11.3.
- Begon, M., Harper, J. L. and Townsend, C. R. (1986) *Ecology: Individuals, Populations and Communities*. Victoria: Blackwell Scientific Publications.

- Daravath, V. and Chander, S. (2017) 'Feeding efficiency of wolf spider, *Pardosa pseudoannulata* (Boesenberg and Strand) against brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal)', *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5, pp. 5–8.
- Engel, M. S. and Grimaldi, D. A. (2004) 'New light shed on the oldest insect', *Nature*, 427, pp. 627–630. doi: 10.1038/nature02334.1.
- Gustianingtyas, M. *et al.* (2020) 'Toxicity of entomopathogenic fungal culture filtrate of lowland and highland soil of South Sumatra (Indonesia) against *Spodoptera litura* larvae', *Biodiversitas*, 21(5), pp. 1839–1849. doi: 10.13057/biodiv/d210510.
- Gustianingtyas, M., Herlinda, S. and Suwandi, S. (2021) 'The endophytic fungi from South Sumatra (Indonesia) and their pathogenicity against the new invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*', *Biodiversitas*, 22(2), pp. 1051–1062. doi: 10.13057/biodiv/d220262.
- Harper, D. and McCormack, D. (2012) *Online Etymological Dictionary, LogoBee.com. Archived from the original on 11 January 2012. Retrieved 1 November 2011.*
- Herawati, V. E., Windarto, S. and Rismaningsih, N. (2020) 'Nutritional value and growth performance of sea worms (*Nereis* sp.) fed with *Hermetia illucens* maggot flour and grated coconut (*Cocos nucifera*) as natural feed', *Biodiversitas*, 21(11), pp. 5431–5437. doi: 10.13057/biodiv/d211151.
- Herlinda, S. *et al.* (2006) 'Fecundity, longevity, and host finding of three parasitoid species of *Liriomyza sativae*', *Hayati Journal of Biosciences*, 13(4), pp. 156–160. doi: 10.4308/hjb.13.4.156.
- Herlinda, S. *et al.* (2008) 'Species of fruitfly attacking solanaceous and cucurbitaceous vegetables in South Sumatera.', *Jurnal Hortikultura*, 18(2), pp. 212–220.
- Herlinda, S. *et al.* (2011) 'Parasitoids of *Aphis gossypii* nymphs from South Sumatra and their parasitization performance', in *The ISSAAS International Symposium & Congress 2011*. Bogor (Indonesia), pp. 1–7.
- Herlinda, S. *et al.* (2019) 'Abundance of arthropods inhabiting canopy of rice cultivated using different planting methods and varieties', *J. Biopest*, 12(1), pp. 7–18.
- Herlinda, S., Prabawati, G., *et al.* (2020) 'Herbivore insects and predatory

- arthropods in freshwater swamp rice field in South Sumatra , Indonesia sprayed with bioinsecticides of entomopathogenic fungi and abamectin’, *Biodiversitas*, 21(8), pp. 3755–3768. doi: 10.13057/biodiv/d210843.
- Herlinda, S., Efendi, R. A., *et al.* (2020) ‘New emerging entomopathogenic fungi isolated from soil in South Sumatra (Indonesia) and their filtrate and conidial insecticidal activity against *Spodoptera litura*’, *Biodiversitas*, 21(11), pp. 5102–5113. doi: 10.13057/biodiv/d211115.
- Herlinda, S., Apriyanti, H. and Anggraini, E. (2018) ‘Paddy rice spacing and its impact on community of insect pest in fresh swamp ecosystems’, *Jurnal Entomologi Indonesia*, 15(3), pp. 151–165. doi: 10.5994/jei.15.3.151.
- Herlinda, S., Octariati, N. and Suwandi, S. (2020) ‘Exploring entomopathogenic fungi from South Sumatra (Indonesia) soil and their pathogenicity against a new invasive maize pest, *Spodoptera frugiperda*’, *Biodiversitas*, 21(7), pp. 2955–2965. doi: 10.13057/biodiv/d210711.
- Horikoshi, R. J. *et al.* (2016) ‘Effective dominance of resistance of *Spodoptera frugiperda* to Bt maize and cotton varieties: Implications for resistance management’, *Scientific Reports*. Nature Publishing Group, 6(October), pp. 1–8. doi: 10.1038/srep34864.
- Huang, H. *et al.* (2015) ‘Rice ragged stunt virus- induced apoptosis affects virus transmission from its insect vector, the brown planthopper to the rice plant’, *Scientific Reports*. Nature Publishing Group, pp. 1–14. doi: 10.1038/srep11413.
- Huang, L.-L. *et al.* (2021) ‘Effects of temperature on life-history traits of the newly invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in Southeast China’, *Ecology and Evolution*, 2021, pp. 1–10. doi: 10.1002/ece3.7413.
- Kadha, F., Supriyanto and Haneda, N. F. (2019) ‘Traditional cultivation of *Laccifer lacca* Kerr. in Alor, East Nusa Tenggara’, in *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 394 01205, pp. 1–5. doi: 10.1088/1755-1315/394/1/012058.
- Karenina, T. *et al.* (2019) ‘Abundance and species diversity of predatory arthropods inhabiting rice of refuge habitats and synthetic insecticide application in freshwater swamps in South Sumatra , Indonesia’, *Biodiversitas*, 20(8), pp. 2375–2387. doi: 10.13057/biodiv/d200836.
- Karenina, T. *et al.* (2020) ‘Community structure of arboreal and soil-dwelling arthropods in three different rice planting indexes in freshwater swamps of

- South Sumatra, Indonesia.’, *Biodiversitas*, 21(10), pp. 4839–4849. doi: 10.13057/biodiv/d211050.
- Marques, T. R. *et al.* (2016) ‘Malpighia emarginata DC. Bagasse acetone extract: Phenolic compounds and their effect on Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)’, *Chilean Journal of Agricultural Research*, 76(1), pp. 55–61. doi: 10.4067/S0718-58392016000100008.
- Mokolensang, J. F., Hariawan, M. G. . and Manu, L. (2018) ‘Maggot (Hermetia illunces) sebagai pakan alternatif pada budidaya ikan’, *Budidaya Perairan*, 6(3), pp. 32–37.
- Muscle, F. (2020) ‘Flight muscle and wing mechanical properties are involved in flightlessness of the domestic silkmoth, Bombyx mori’, *Insects*, 11, pp. 1–14.
- Nascimento, I. N. do *et al.* (2018) ‘Light-emitting Diodes (LED) as luminous lure for adult Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae)’, *Journal of Experimental Agriculture International*, 25(4), pp. 1–8. doi: 10.9734/jeai/2018/43402.
- Odum, E. P. (1971) *Fundamentals of Ecology*. Third Edit. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- Pathak, M. D. and Khan, Z. R. (1994) *Insect Pests of Rice*. Manila: The International Rice Research Institute (IRRI).
- Prabawati, G., Herlinda, S. and Pujiastuti, Y. (2019) ‘The abundance of canopy arthropods in South Sumatra (Indonesia) freshwater swamp main and ratooned rice applied with bioinsecticides and synthetic insecticide’, *Biodiversitas*, 20(10), pp. 2921–2930. doi: 10.13057/biodiv/d201021.
- Price, P. W. (1997) ‘Insect Ecology’. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Pujiastuti, Y. *et al.* (2020) ‘Identification of fruit flies (Diptera : Tephritidae) dan their distribution in South Sumatera Province’, *Jurnal Entomologi Indonesia*, 17(3), pp. 125–135. doi: 10.5994/jei.17.3.125.
- Raya, J. and Java, W. (2017) ‘Abilities of brown planthopper immigrant transmits rice ragged stunt virus on rice of some district of Java-Indonesia’, *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 4(8), pp. 300–310. doi: 10.21276/sjav.
- Riyanto *et al.* (2011) ‘Kelimpahan dan keanekaragaman spesies serangga predator dan parasitoid Aphis gossypii di Sumatera Selatan’, *J. HPT*

- Tropika*, 11(1), pp. 57–68.
- Sari, A., Buchori, D. and Nurkomar, I. (2020) ‘The potential of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Scelinoidea) as biocontrol agent for the new fall armyworm *S. frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Indonesia’, *Planta Tropika: Jurnal Agrosain*, 8(2), pp. 69–74. doi: 10.18196/pt.2020.116.-69-74.
- Sayusti, T. *et al.* (2021) ‘Stingless bees (Hymenoptera: Apidae) in South and West Sulawesi, Indonesia: morphology, nest structure, and molecular characteristics’, *Journal of Apicultural Research*. Taylor & Francis, 60(1), pp. 143–156. doi: 10.1080/00218839.2020.1816272.
- Shah, H. *et al.* (2008) ‘Transmission and host range studies of Pakistani isolate of chilli veinal mottle virus’, *Pakistan Journal of Botany*, 40(6), pp. 2669–2681.
- Sumikarsih, E., Herlinda, S. and Pujiastuti, Y. (2019) ‘Conidial density and viability of *Beauveria bassiana* isolates from Java and Sumatra and their virulence against *Nilaparvata lugens* at different temperatures’, *Agrivita: Journal of Agricultural Science*, 41(2), pp. 335–349.
- Suryanto, H., Supriyanto and Haned, N. F. (2018) ‘Injeksi molase untuk meningkatkan pertumbuhan dan vitalitas tanaman kesambi (*Schleicera oleosa* Merr) sebagai inang kutu lak’, *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 7, pp. 173–181.
- Ula, R. *et al.* (2018) ‘Analisis usaha budidaya maggot sebagai alternatif pakan lele’, *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 7, pp. 39–46.
- Untung, K. (2006) *Pengantar Pengelolaan Hama Terpadu (Edisi Kedua)*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Widhiono, I. and Sudiana, E. (2015) ‘Keragaman serangga penyerbuk dan hubungannya dengan warna bunga pada tanaman pertanian di Lereng Utara Gunung Slamet, Jawa Tengah’, *Biospecies*, 8(2), pp. 43–50.
- Ying-jie, L. I. U. *et al.* (2020) ‘Analysis of phototactic responses in *Spodoptera frugiperda* using *Helicoverpa armigera* as control’, *Journal of Integrative Agriculture*, 19, pp. 2–9. doi: 10.1016/S2095-3119(19)62863-7.
- Zanuncio, J. C. *et al.* (2008) ‘Predation rate of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae with and without defense by *Podisus*

nigrispinus (Heteroptera : Pentatomidae)', *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 51, pp. 121–125.

Zhang, Z.-Q. (2011) 'Animal Biodiversity: An Outline of Higher-Level Classification and Survey of Taxonomic Richness'. Auckland, N. Z: Magnolia Press.

## Bab 2

# Proses di Ekosistem Pertanian

## Siti Herlinda

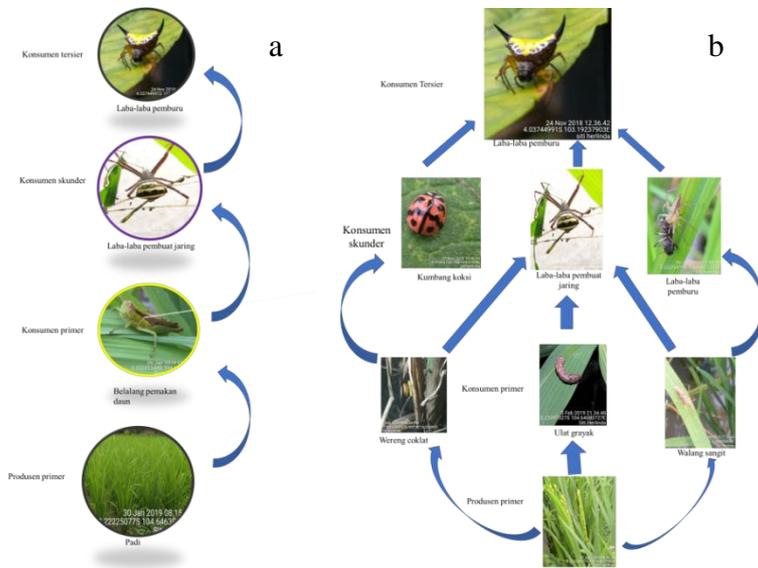
**Program Studi Proteksi Tanaman, Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya, Jalan Raya Palembang-Prabumulih, km 32, Indralaya 30662, Ogan Ilir, Sumatera Selatan, Indonesia. Email: sitiherlinda@unsri.ac.id**

Ekosistem adalah suatu sistem yang terjadi karena adanya interaksi antara faktor biotik dan abiotik (lingkungan) secara timbal balik (Odum, 1971). Ekosistem disusun atas komunitas yang berinteraksi dengan lingkungan fisiknya (abiotik) (Untung, 2006). Ekosistem dimaknai juga sebagai komunitas yang berinteraksi dengan komponen abiotik lingkungan (Price, 1997). Contoh ekosistem sawah terjadi interaksi antara tanaman padi dan hara mineral tanah, tanaman padi dapat hidup dengan adanya hara mineral tanah tersebut. Contoh lainnya, keberadaan air di sawah menyebabkan adanya kehidupan serangga air. Dengan demikian, ekosistem itu merupakan sistem yang terbentuk karena adanya interaksi dinamis antara komponen biotik dengan abiotik.

Ekosistem tersusun atas banyak unit atau komponen, yakni komunitas, *guilds*, spesies, populasi, individu (Price, 1997). Pada Bab 1 telah dijelaskan bahwa komunitas itu disusun oleh beberapa spesies makhluk hidup yang menempati satu tempat dan waktu yang sama, sedangkan spesies itu sendiri merupakan kumpulan populasi atau individu yang dapat melakukan kopulasi antar mereka (*interbreeding*) dan mampu menghasilkan keturunan fertile dan terisolasi secara reproduksi dari spesies lainnya. Guild merupakan kumpulan spesies yang mengeksploitasi sumberdaya yang sama dengan cara yang sama, misalnya pemakan daun (*leaf eater*). Populasi merupakan kumpulan individu satu spesies yang menempati waktu dan ruang yang sama. Spesies merupakan kumpulan individu dalam satu spesies (populasi) yang dapat melakukan kopulasi

antar mereka (*interbreeding*) dan mampu menghasilkan keturunan fertil, serta terisolasi secara reproduksi dari spesies lainnya.

Hal yang penting dari konsep dan fungsi ekosistem adalah adanya interaksi antar komponen yang dalam ekologi makhluk hidup dikategorikan dengan cara mereka berinteraksi satu sama lain, yaitu autotrof, produsen, konsumen/heterotrofik (Price, 1997). Autotrof merupakan organisme yang memproduksi makanan sendiri dari sinar matahari dan air dan oksigen, misalnya tumbuhan yang memproduksi karbohidrat dari proses fotosintesis. Autotrof disebut juga produsen karena memproduksi makanan untuk kehidupan makhluk hidup lainnya. Konsumen atau heterotrofik merupakan organisme yang memakan autotrof atau produsen. Konsumen terbagi atas beberapa tingkat. Konsumen tingkat pertama adalah organisme yang memakan produsen, sedangkan konsumen tingkat kedua (skunder) adalah organisme yang memakan konsumen tingkat pertama. Konsumen tingkat ketiga (tersier) adalah organisme yang memakan konsumen tingkat kedua dan seterusnya (Gambar 2.1).



Gambar 2.1. Hubungan tingkat trofik di agroekosistem: rantai makanan (a) dan jaring makanan (Herlinda, 2018)

Banyak komponen dan interaksi antar komponen membentuk proses-proses di ekosistem, namun bila disederhanakan proses-proses yang terjadi di ekosistem dapat dikelompokkan menjadi empat proses utama, yaitu 1) aliran energi (*energy flow*), 2) daur biogeokimiawi (*biogeochemical cycling*), 3) suksesi ekologi (*ecological succession*), 4) evolusi spesies (*the evolution of species*) (Price, 1997). Pada bab ini pembahasannya hanya terfokus pada empat proses yang terjadi di ekosistem pertanian khususnya yang terkait dengan serangga dan faktor lingkungan fisiknya (tanah, air, hujan, kelembaban, suhu, pupuk, pestisida dan lain-lain) di ekosistem pertanian.

## 2.1. Aliran Energi

Aliran energi merupakan rangkaian urutan berpindahnya energi dari satu tingkatan trofik ke tingkat trofik di atasnya (Price, 1997). Aliran energi rangkaian urutan berpindahnya energi dari sinar matahari, lalu pindah ke tumbuhan (produsen), lalu tumbuhan dimakan oleh serangga fitofag (konsumen tingkat ke-1), serangga dimangsa oleh predator atau diparasit oleh parasitoid primer (konsumen tingkat ke-2), lalu predator dapat dimangsa oleh predator yang lebih besar lagi atau parasitoid primer diparasit oleh parasitoid sekunder (konsumen tingkat ke-3) dan seterusnya, dan akhirnya diuraikan oleh pengurai.

Pada proses aliran energi ini adanya pengurangan energi yang berpindah dan masuk ke tingkat trofik di atasnya, sisanya berubah bentuk energi lainnya, misalnya berbentuk panas sehingga secara keseluruhan total energi dari matahari tersebut tidak mengalami pengurangan (Price, 1997).

Proses aliran energi di atas merupakan implimentasi dari Hukum Termodinamika pertama dan kedua. Proses aliran energi menggerakkan semua kehidupan di biofir dikendalikan oleh dua hukum termodinamika, yaitu yang pertama dan kedua. Hukum Termodinamika pertama berisi: “energi dapat diubah dari satu bentuk energi ke bentuk lainnya, tetapi energi tidak dapat diciptakan ataupun dimusnahkan atau dihilangkan”. Hukum Termodinamika kedua, berisi “dalam proses pengubahan energi tersebut akan berjalan dari bentuk energi yang terkonsentrasi atau yang lebih terhambur” (Price, 1997).

Aliran energi itu sendiri adalah pengalihan atau berpindahnya energi dari satu tingkat trofik ke tingkat trofik di atasnya dalam satu rantai makanan (Price,

1997). Aliran energi merupakan proses yang berjalan satu arah yang dimulai dengan energi matahari masuk ke ekosistem melalui tumbuhan dengan proses fotosintesisnya mengubah energi matahari menjadi karbohidrat. Tumbuhan memproduksi sendiri makanannya dari energi matahari sehingga disebut sebagai produsen, misalnya tanaman jagung. Selanjutnya energi dari tumbuhan tersebut berpindah ke pemakan tumbuhan (herbivora). Misalnya jagung dimakan larva *S. frugiperda* (Silva *et al.*, 2017). Herbivora ini dikelompokkan sebagai sebagai konsumen pertama. Selanjutnya herbivora dimakan oleh tingkat trofik di atasnya yang disebut sebagai karnivora. Karnivora pemakan herbivora dikelompokkan ke dalam konsumen kedua. Contoh karnivora yang termasuk konsumen kedua adalah serangga predator atau parasitoid. *Telenomus remus* adalah konsumen kedua karena memarasit telur *S. frugiperda* (Kenis *et al.*, 2019). Konsumen kedua ini juga dapat dimangsa oleh karnivora kelompok konsumen ketiga. Misalnya parasitoid telur *S. frugiperda*, *T. remus* diparasit oleh hiperparasitoid, yaitu *Acroclisoides sinicus* (Giovannini *et al.*, 2021). Akhirnya semua organisme baik produsen maupun konsumen pertama hingga terakhir yang sudah mati dihancurkan oleh organisme pengurai atau dekomposer yang pada setiap tahap pengalihan atau perpindahan energi maka dikeluarkan energi dalam bentuk panas (Untung, 2006).

Energi yang berpindah dari satu tingkat trofik ke tingkat trofik di atas hanya berhasil  $\pm 10\%$ , sedangkan hampir 90% energi lainnya dilepaskan dalam bentuk panas ke udara melalui proses respirasi atau pernafasan (Untung, 2006). Dengan demikian proses perpindahan energi ke tingkat trofik di atasnya berjalan kurang efisien karena adanya energi terhambur berubah bentuk sesuai dengan hukum Termodinamika kedua. Hukum Termodinamika Pertama juga terjadi di aliran energi ini, yaitu adanya perubahan energi dari energi matahari diubah oleh tumbuhan (produsen) ke bentuk lainnya berupa energi biokimia, selanjutnya energi biokimia ini diubah menjadi energi panas oleh konsumen.

Arah aliran energi pada rantai makanan memperlihatkan hanya satu arah menuju ke tingkat trofik di atasnya. Namun, realitanya di alam setiap spesies tumbuhan atau hewan dapat dimakan atau diparasit oleh beberapa spesies makluk hidup lainnya di tingkat trofik di atasnya (Untung, 2006). Adanya hubungan yang lebih dari satu rantai ke tingkat trofik di atasnya membentuk jaring atau jala makanan. Semakin rumit atau semakin banyak rantai menuju ke tingkat trofik di atasnya, maka proses aliran energi terus berjalan dan tidak

terputus sehingga ekosistem menjadi stabil karena tidak adanya dominasi (peledakan) salah satu komponen tingkat trofik.

## 2.2. Siklus Biogeokimia

Aliran energi mengalirnya satu arah dan tidak membentuk siklus. Namun, senyawa kimia sebaliknya, senyawa kimia dari ekosistem, lalu masuk ke tubuh makhluk hidup pada rantai makanan, dan makhluk hidup yang mati mengembalikan senyawa kimia tadi kembali ke ekosistem. Senyawa kimia yang secara konsisten mengalami siklus di ekosistem, yang dimulainya dari senyawa kimia dari tanah dan air (geo), lalu masuk ke tubuh makhluk hidup (bio) dalam rantai atau jaring makanan, lalu makhluk hidup tersebut mati kembali masuk ke tanah atau air dan proses ini disebut dengan siklus biogeokimia (Price, 1997). Secara detil siklus biogeokimia dapat dijelaskan sebagai berikut. Hara dan mineral dari tanah diserap oleh tumbuhan, lalu tumbuhan dimakan oleh serangga fitofag, serangga fitofag dimangsa oleh serangga predator, lalu serangga predator dimangsa oleh laba-laba, selanjutnya laba-laba mati diuraikan oleh serangga pengurai, maka hara mineral tadi kembali lagi ke tanah.

Pada proses siklus biogeokimia, bila senyawa kimia tidak dapat diuraikan (persisten) masuk ke tubuh makhluk hidup, maka semakin tinggi tingkat trofik semakin tinggi pula konsentrasi tumpukan residu senyawa kimia tersebut. Adanya penumpukan senyawa kimia yang persisten pada tubuh makhluk hidup di setiap tingkat trofik atau pada komponen-komponen di rantai makanan atau jaring makanan disebut sebagai perbesaran hayati/biologi atau magnifikasi biologi atau biomagnifikasi (*biological concentration*) (Price, 1997; Untung, 2006). Siklus biogeokimiawi umumnya memiliki ciri khas sebagai berikut: 1) terjadinya pergerakan senyawa kimia atau unsur hara dari lingkungan/ekosistem menuju ke organisme, dan kemudian kembali ke lingkungan, 2) keikutsertaan berbagai organisme baik tumbuhan dan binatang, terutama jasad-jasad renik, 3) adanya persediaan geologi, yaitu atmosfer atau litosfir, dan 4) terjadinya berbagai perubahan kimiawi (Untung, 2006).

Contoh kasus biomagnifikasi pada siklus biogeokimia terjadi pada ekosistem yang diaplikasikan insektisida DDT (*dichloro diphenyl trichloroethane*), seperti yang diuraikan oleh Price (1997) berikut ini. Insektisida DDT yang sangat persisten diaplikasikan di ekosistem pantai untuk mengendalikan

serangga, misalnya nyamuk di pinggir pantai, lalu residu DDT dari penyemprotan nyamuk tersebut mengalir menuju pantai masuk ke tubuh plankton, kemudian plankton dimakan oleh ikan kecil, lalu ikan kecil dimakan oleh tingkat trofik atasnya, yaitu ikan berukuran sedang. Di dalam tubuh ikan berukuran sedang ini residu DDT akan menumpuk sebanyak jumlah residu yang berasal dari ikan berukuran kecil yang dia makan tadi, selanjutnya ikan berukuran sedang dapat dimangsa oleh tingkat trofik di atasnya, yaitu ikan berukuran besar. Residu DDT di ikan berukuran besar ini semakin bertambah dengan konsentrasi sebanyak jumlah residu di dalam tubuh ikan ukuran sedang yang dimakannya. Bila ikan berukuran besar ini dimakan oleh burung, maka tumpukan residu DDT paling tinggi ditemukan pada tubuh burung yang merupakan tingkat trofik yang paling tinggi di rantai makanan tersebut.

Penyebab terjadinya penumpukan dan peningkatan senyawa kimia beracun di semua level rantai makanan dan semakin menumpuk dengan semakin tingginya tingkat trofik di atas karena senyawa kimia beracun tersebut persisten yang sangat sulit terurai, maka dalam proses perpindahan energi bahan tersebut akan terikut dalam aliran energi dari satu tingkat trofik ke trofik di atasnya (Price, 1997). Karena proses perpindahan energi dari satu tingkat trofik ke tingkat trofik di atasnya terjadi keluarnya energi dari sistem sehingga menjadi tidak efisien (hukum Termodinamika kedua), sedangkan konsentrasi senyawa beracun yang berpindah terikut relatif tetap maka terjadi peningkatan konsentrasi senyawa beracun dari tingkat trofik yang lebih rendah ke tingkat trofik yang lebih tinggi. Dari kasus peningkatan residu DDT sebesar 80.000 kali di burung pemakan ikan kalau dibandingkan residu DDT yang dijumpai di plankton dan residu DDT (Untung, 2006). Dari kasus DDT ini harusnya kita bijak agar tidak lagi menyemprotkan pestisida persisten (tidak terurai) karena dampaknya sangat membahayakan kelangsungan hidup komponen-komponen di ekosistem.

## 2.3. Suksesi Ekologi

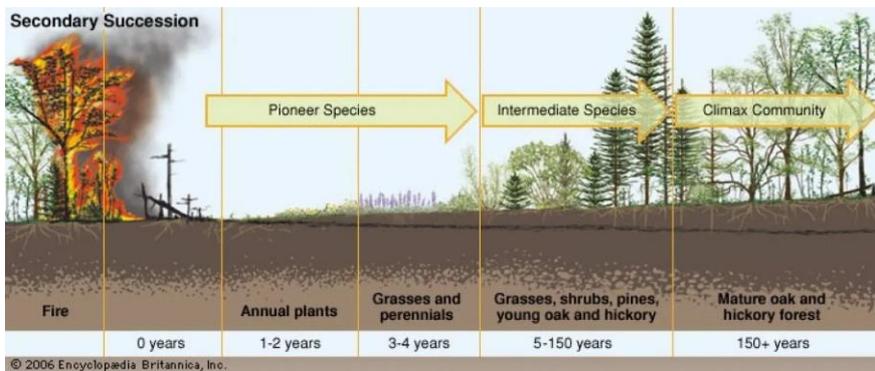
Ekosistem bersifat tidak statis tapi terus mengalami perubahan dari kondisi yang simpel menuju klimaks yang kompleks. Perubahan yang dialami ekosistem bersifat serentak dan secara bersama saling mempengaruhi antara faktor biotik (komunitas tumbuhan maupun hewan) dan abiotik (faktor fisik lingkungan). Perubahan tersebut biasanya dapat diprediksi dan polanya tertentu. Perubahan secara serentak antara faktor biotik dan abiotik di suatu

ekosistem disebut dengan suksesi ekologi (Price, 1997). Suksesi ekologi yang merupakan proses evolusi ekosistem atau perubahan secara perlahan dan serentak dan saling mempengaruhi antara faktor lingkungan (seperti suhu, kebasahan, ketersediaan air dan mineral) yang membentuk tipe dan kuantitas tumbuhan dan hewan yang dapat bertahan hidup dan berkembang biak pada waktu dan tempat tertentu dan sebaliknya ada dan berkembangnya komunitas tanaman dan binatang dapat terus mengubah keadaan lingkungan fisiknya (Untung, 2006).

Terdapat dua tipe suksesi ekologi, yaitu suksesi primer dan sekunder. Suksesi primer adalah suksesi yang terjadi di lokasi tanah yang dimulai dengan ketiadaan makhluk hidup di lokasi tersebut akibat bencana alam seperti adanya aliran lava panas dari gunung meletus yang mematikan semua makhluk hidup yang di aliran yang lava tersebut lalu, suksesi primer ini dapat juga terjadi di bukit pasir yang baru terbentuk, atau bebatuan yang tertinggal dari gletser yang menyusut. Suksesi sekunder terjadi di suatu ekosistem sebelumnya pernah dihuni oleh komunitas yang berinteraksi dengan lingkungannya, lalu ekosistem tersebut dimusnahkan atau dihilangkan tapi masih menyisakan sebagian kecil makhluk hidup dan nutrisi di lingkungannya (Thompson, 2021). Suksesi ekologis atau tahap pionir (*species pioneer*) dimulai dari satu spesies yang dominan yang menempati suatu lahan, lalu spesies tersebut terus berkembang dan mengubah stratifikasi ekosistem dan kondisi tanah, lalu pelan-pelan terjadi persaingan sehingga spesies yang dapat beradaptasi dapat bertahan dan spesies-spesies baru menggantikan posisi spesies sebelumnya atau spesies tersebut hidup berdampingan, kemudian spesies tumbuhan yang baru mengundang kehadiran hewan herbivora dan karnivora yang baru juga (Untung, 2006) sehingga mulai memasuki tahapan spesies menengah (*species intermediate*). Proses penambahan spesies tersebut berjalan secara terus menerus sehingga struktur komunitas ekosistem menjadi semakin kompleks dan stabil pada tahap akhir disebut tahap klimaks (*climax community*) (Price, 1997). Secara garis besar tahapan dalam suksesi dimulai dari terbentuknya spesies pioner, yang mengundang kehadiran spesies menengah, dan setelah semakin banyaknya spesies menengah lama-kelamaan tidak terjadi lagi penambahan spesies makhluk hidup lagi di ekosistem tersebut karena telah mencapai komunitas klimaks (Gambar 2.1) (Thompson, 2021).

Contoh suksesi primer adalah suksesi terjadi di lembah gunung yang dilewati (radiusnya dapat mencapai puluhan hektar) oleh lava dari gunung meletus, tanah yang dilewati lava cair panas bersuhu di atas 700 °C mematikan semua makhluk hidup yang dilewati oleh lava tersebut. Setelah daerah yang dilewati

larva tersebut tidak panas lagi, dimulailah kehidupan mikroorganisme di lokasi tersebut, lalu diikuti hidupnya tumbuhan yang memproduksi makanan untuk hewan, dengan tumbuhnya tumbuhan menyebabkan hadirnya hewan mulai konsumen pertama, lalu diikuti oleh konsumen kedua dan seterusnya hingga terbentuk komunitas klimaks.



Gambar 2.2. Tahapan proses terjadi suksesi ekologi (Thompson, 2021)

Suksesi skunder yang paling mudah dilihat contohnya adalah terbentuk ekosistem pertanian, misalnya terbentuknya ekosistem padi. Pada saat panen, tanaman padi diambil buah, daun, dan batangnya dari ekosistem pertanian, lalu tanah diolah sehingga tidak ada lagi tanaman padi sebelumnya di lahan yang sudah diolah tersebut, fase inilah awal dari suksesi skunder. Setelah itu, di lahan ditanam benih padi, padi berkembang memasuki fase vegetatif yang di sekitarnya dapat tumbuh juga tumbuhan liar, bila ekosistem padi tersebut tidak disiangi maka tumbuhan (flora) dan artropoda dan vertebrata terus berkembang di ekosistem tersebut. Bila ekosistem padi ini, hewan dan tumbuhan dibiarkan terus bertambah, maka lama-lama berubah menjadi ekosistem semak belukar, ekosistem semak belukar lama-lama menjadi hutan skunder. Namun, bila ekosistem padi tetap akan dipertahankan maka, tumbuhan liar yang turut tumbuh di lahan perlu disiangi, artropoda yang berperan sebagai hama dan vertebrata hama yang menyerang padi perlu dikendalikan sehingga ekosistem padi tetap terbentuk. Ekosistem padi ini

umumnya tidak dibiarkan mencapai klimaks tapi saat padi siap dipanen, maka ekosistem padi tersebut dihentikan. Apabila ekosistem padi ini tidak dihentikan melalui panen, maka tumbuhan lain pesaingnya dan spesies hewan akan terus bertambah hingga mencapai komunitas klimaks.

Pada ekosistem pertanian yang memiliki komunitas yang menghuninya semakin kompleks, maka ekosistem tersebut semakin stabil (Herlinda, 2018). Umpamanya, ekosistem padi di atas hanya ada satu spesies tumbuhan, yaitu hanya padi, maka padi beresiko tinggi untuk dikunjungi spesies herbivora yang dapat mendominasi ekosistem tersebut. Dominasi populasi herbivora yang menyerang padi dapat terjadi karena rendahnya keanekaragaman species tumbuhan dan hewan di sana. Bila di pematang sawah dibiarkan ditumbuhi tumbuhan liar semusim berbunga yang mampu menghasilkan nektar dan serbuk sari (refugia), maka di ekosistem padi akan didatangi karnivora pemakan herbivora dan akan hadir oleh herbivora spesies lain yang menyerang tumbuhan liar tersebut. Kedatangan karnivora pemangsa herbivora ini disebabkan adanya pakan tambahan di sawah tersebut berubah nektar dan serbuk sari. Selain itu, herbivora yang ada di tumbuhan liar juga berfungsi sebagai mangsa alternatif bagi karnivora sehingga karnivora selalu menetap karena tidak kekurangan mangsanya. Dengan bertambahnya spesies tumbuhan liar di ekosistem padi ini menyebabkan tidak mendominasinya populasi herbivora pemakan padi sehingga populasinya selalu pada ambang ambang keseimbangan umum. Bila pemakan padi berada di ambang keseimbangan umum dalam jangka panjang menyebabkan stabilnya ekosistem padi tersebut.

Pada ekosistem pertanian yang memiliki keanekaragaman spesies tumbuhan yang tinggi menyebabkan semakin banyaknya spesies artropoda yang berasosiasi dengan tanaman utama. Misalnya, pada padi di pematang sawah ditanami spesies sayuran dan spesies tanaman hias berbunga menyebabkan kelimpahan artropoda predator lebih berlimpah dan serangga fitofag lebih sangat rendah (Herlinda *et al.*, 2019; Karenina *et al.*, 2019). Penanaman sayuran di pematang sawah selain dapat menjaga kerja layanan yang dilakukan oleh komponen ekosistem juga dapat meningkatkan produktivitas lahan (Karenina *et al.*, 2019). Tumpangsari dengan menanam lebih dari satu spesies tanaman dalam satu areal lahan menyebabkan peningkatan populasi serangga predator (Anggraini *et al.*, 2021).

## 2.4. Evolusi Serangga

Teori evolusi spesies makhluk hidup melalui seleksi alam pertama kali dipublikasikan tahun 1859 oleh Charles Darwin dalam bukunya yang berjudul “*The Origin of Species*”. Evolusi spesies merupakan proses yang menyebabkan perubahan pada sifat-sifat terwariskan suatu populasi spesies dari waktu ke waktu berikutnya atau dari satu generasi ke generasi berikutnya (Odum, 1971). Keberhasilan dari perubahan-perubahan dalam evolusi tersebut disebabkan adanya tiga faktor utama, yaitu 1) keanekaragaman genetik yang dimiliki spesies, 2) spesies mengalami reproduksi secara seksual, 3) adanya seleksi oleh lingkungan terhadap genetik spesies tersebut, sedangkan evolusi itu sendiri ditentukan oleh dua faktor, yaitu keanekaragaman genetik dalam satu spesies dan adanya seleksi lingkungan (Price, 1997).

Genotipe merupakan susunan genetik yang dimiliki individu dan menentukan sifat populasi dalam satu spesies, sedangkan fenotipe merupakan perkembangan genotipe yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan (Price, 1997). Genotipe merupakan ciri-ciri genetik yang ada di dalam tubuh makhluk hidup yang tidak kasat mata, sedangkan fenotipe merupakan ciri yang tampak dari luar yang merupakan ciri yang berasal dari genetik yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Dalam evolusi, fenotipe atau tampilan morfologi (tampak dari luar) satu spesies disebabkan adanya genotipe yang beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya.

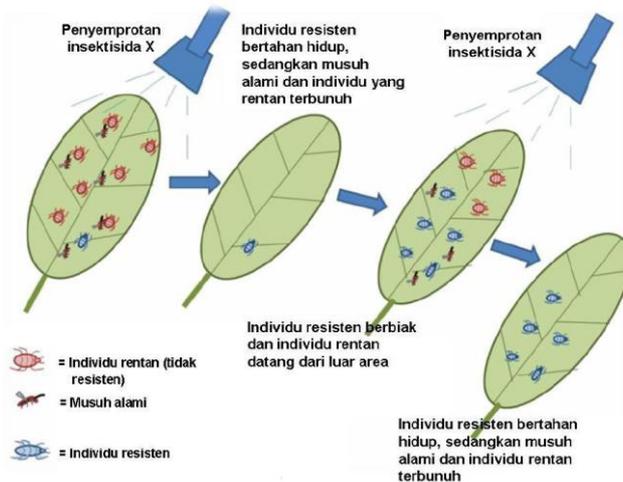
Susunan genetik dapat mengalami perubahan sehingga menyebabkan semakin tinggi keanekaragaman genetik pada populasi satu spesies. Perubahan-perubahan genetik pada satu spesies makhluk hidup dapat terjadi karena mutasi akibat dari adanya radiasi, panas, proses senyawa kimiawi (Untung, 2006). Keanekaragaman genetik juga dapat disebabkan terpisahnya secara spasial populasi satu spesies dalam jangka waktu yang lama sehingga masing-masing populasi yang terpisah ini beradaptasi di lokasi masing-masing, misalnya saja populasi *Plutella xylostella* di dataran rendah dan di dataran tinggi. Warisan gen yang diwariskan dari orangtua yang melakukan reproduksi seksual yang interbreeding antar populasi atau strain atau bahkan subspecies.

Perubahan-perubahan genetik dapat terjadi karena adanya warisan kombinasi gen dari kedua orangtuanya disebabkan kedua orangtuanya melakukan interbreeding antar populasi/strain ataupun antar subspecies dalam satu spesies. Semakin tinggi perbedaan genetik asal dari kedua orangtuanya (kekerabatan yang jauh), maka keanekaragaman genetik keturunannya juga semakin tinggi. Semakin dekat kekerabatan kedua orangtuanya, keanekaragaman genetik keturunannya akan semakin rendah. Misalnya, satu spesies serangga yang dipelihara secara terus menerus di laboratorium hingga puluhan generasi dapat menghasilkan keturunan yang memiliki keanekaragaman genetik yang relatif rendah karena orangtuanya kawin/kopulasi dengan sesama saudara kandungnya atau sedarah (*inbreeding*). Keanekaragaman genetik yang rendah dan mengarah ke homogen sangat baik untuk dijadikan serangga uji dalam percobaan di laboratorium karena dapat menghilangkan sumber keragaman di luar perlakuan (*treatment*) percobaan. Namun, bila pembiakan massal dilakukan pada suatu spesies parasitoid atau serangga predator di laboratorium untuk dilepaskan di lapangan, maka keanekaragaman genetik musuh alami tersebut harus tinggi sehingga bila dilepas di ekosistem pertanian mampu mengatasi tekanan seleksi lingkungan yang ekstrim. Seleksi lingkungan yang ekstrim berupa fluktuasi suhu di siang dan malam hari, kelembaban tinggi karena hujan, ataupun terik sinar matahari harus dapat diatasi oleh populasi asal laboratorium yang dilepas tersebut, dan ini hanya mampu dilakukan bila populasi tersebut memiliki individu-individu yang genetik yang bervariasi tinggi. Namun, bila keanekaragaman genetik populasi asal laboratorium tersebut sangat rendah akibat *inbreeding*, maka populasi laboratorium yang dilepas ini tidak sanggup menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan yang ekstrim di lapangan. Untuk menjaga agar keanekaragaman genetik suatu spesies parasitoid atau serangga predator biakan laboratorium ini, maka sangat perlu dilakukan penambahan populasi liar dari lapangan sehingga terjadi *interbreeding* dengan populasi yang ada di laboratorium. Bila rutin dilakukan penambahan populasi liar dari lapangan ini, maka *inbreeding* dapat dihindari.

Pada serangga, proses evolusi yang paling mudah dapat terlihat adalah terbentuknya populasi serangga yang resisten terhadap insektisida sintetik dan terbentuknya biotipe wereng batang coklat (*Nilaparvata lugens*) akibat penanaman terus menerus satu varietas unggul tahan wereng (VUTW) selama puluhan musim. Resistensi serangga terhadap

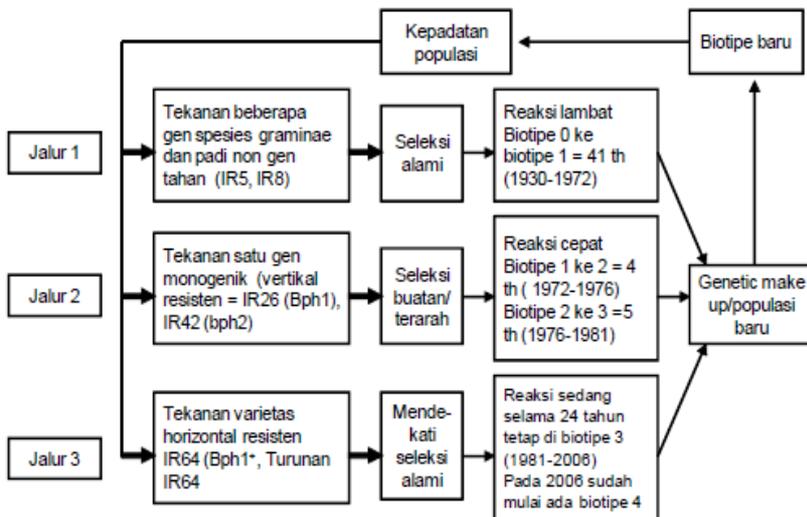
insektisida sintetik itu disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu tingginya keanekaragaman genetik yang dimiliki oleh serangga dan seleksi yang keras dan masif melalui penyemprotan insektisida sintetik terus menerus dan berjadwal. Satu varietas yang ditanam terus menerus selama puluhan musim dapat menjadi penyeleksi, genetik yang lama mati, sedangkan individu yang genetik yang kuat mampu menghabiskan varietas unggul tersebut.

Mekanisme resistensi serangga (Gambar 2.3) terhadap insektisida sintetik disebabkan adanya keanekaragaman genetik pada individu dalam suatu populasi dan seleksi terhadap individu-individu tersebut oleh insektisida yang disemprotkan ke mereka. Keanekaragaman genetik tersebut misalnya, ada individu-individu yang memiliki enzim mampu mendetoksifikasi racun tinggi, ada yang kemampuannya sedang, dan ada yang lemah. Saat disemprotkan racun pada beberapa musim tanam individu-individu yang memiliki enzim yang mampu mendetoksifikasi racun dari insektisida sintetik tersebut tetap bertahan tidak mati oleh insektisida, lalu mereka melahirkan keturunan yang memiliki kemampuan mendetoksifikasi dari racun insektisida sintetik sehingga musim-musim tanam berikutnya telah terbentuk populasi yang tahan atau resisten terhadap racun dari insektisida tersebut. Hasil penelitian *Dono et al.* (2010) menunjukkan bahwa adanya enzim asetilkolin esterase, esterase dan glutathion Stransferase pada serangga hama kubis, *Crociodolomia pavonana* (sinonim *Crociodolomia binotalis*) mampu mendetoksifikasi racun yang berasal dari insektisida sintetik berbahan aktif organofosfat.



Gambar 2.3. Mekanisme terjadinya resistensi serangga terhadap insektisida

<https://balitsa.litbang.pertanian.go.id/ind/images/contactmap/Berita%20Balitsa/RESISTENSI%20ORGANISME%20PENGANGGU%20TUMBUHAN.pdf>



Gambar 2.4. Mekanisme terbentuknya biotipe wereng batang coklat (Baehaki, 2012)

Biotipe merupakan suatu populasi atau sejumlah individu suatu spesies yang dibedakan dari populasi atau individu-individu lain, bukan karena sifat genotipe dan morfologi, tetapi didasarkan pada kemampuan beradaptasi, dibedakan pada tingkat keganasan, perkembangan pada tanaman inang tertentu, daya tarik untuk makan, dan meletakkan telur (Baehaki, 2012). Mekanisme terbentuknya biotipe wereng batang coklat (Gambar 2.4) terjadi karena adanya keanekaragaman genetik wereng batang coklat yang tinggi dan penanaman varietas tertentu secara terus menerus. Wereng batang coklat memiliki plastisitas genetik tinggi sehingga dapat beradaptasi pada berbagai lingkungan. Sifat inilah yang merupakan salah satu menyebabkan terbentuknya biotipe wereng batang coklat. Penanam suatu varietas yang terus menerus menyebabkan wereng yang beragam genetiknya ini terseleksi dengan hasil yang lemah umumnya tidak mampu beradaptasi akan mati, sedangkan genetik yang mampu beradaptasi akan terus berkembang membentuk populasi baru yang berbeda dengan populasi sebelumnya. Perbedaan ini dicirikan dengan populasi yang genetiknya kuat ini mampu mematahkan varietas yang ditanam terus menerus, dan populasi yang baru ini juga memiliki ciri lebih rakus dan ganas dalam menyerang varietas yang mereka patahkan itu. Sehingga setelah perilakunya berubah, maka populasi wereng batang coklat ini meledak populasinya dan menyebabkan puso puluhan hektar. Penelitian Hartaman and Sudarsono (2018) mengevaluasi keberadaan wereng batang coklat biotipe 3 di Lampung, menggunakan empat varietas standar, yaitu Pelita I/1, Mudgo, ASD-7, dan Rathu Heenati. Secara detil hasil penelitian tersebut sebagai berikut: kultivar Rathu Heenati (mengandung gen resisten Bph3) tergolong tahan sampai sangat tahan, kultivar Pelita I/1 (tanpa gen resisten) tergolong peka sampai agak tahan, Mudgo (gen Bph1) tergolong agak peka sampai agak tahan, dan ASD-7 (gen bph2) tergolong agak tahan sampai tahan. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan dari 8 populasi dari 8 lokasi di Lampung, wereng batang coklat yang diamati semua mengindikasikan karakteristik yang sesuai dengan wereng batang coklat biotipe 3. Dengan demikian, untuk mendeteksi perkembangan biotipe di lapangan mengikuti prosedur standar dan menggunakan varietas standar.

## Daftar Pustaka

- Anggraini, E. *et al.* (2021) 'Phytophagous insects and predatory arthropods in soybean and zinnia', *Biodiversitas*, 22(3), pp. 1405–1414. doi: 10.13057/biodiv/d220343.
- Baehaki, S. E. (2012) 'Perkembangan biotipe hama wereng coklat pada tanaman padi', *Iptek Tanaman Pangan*, 7(1), pp. 8–17.
- Dono, D. *et al.* (2010) 'Status dan mekanisme resistensi biokimia *Crocidolomia pavonana* (F.) (Lepidoptera: Crambidae) terhadap insektisida organofosfat serta kepekaannya terhadap insektisida botani ekstrak biji *Barringtonia asiatica*', *Jurnal Entomologi Indonesia*, 7(1), pp. 9–27.
- Giovannini, L. *et al.* (2021) 'Reproductive and developmental biology of *Acroclisoides sinicus*, a hyperparasitoid of scelionid parasitoids', *Biology*, 10, pp. 1–18.
- Hartaman, M. and Sudarsono, H. (2018) 'Determinasi biotipe wereng coklat (*Nilaparvata lugens* stall) dari beberapa lahan sawah di Provinsi Lampung', in *Prosiding Forum Pertanian Perguruan Tinggi Pertanian Indonesia FKPTPI 2018 Universitas Syiah Kuala Banda Aceh*, pp. 403–411.
- Herlinda, S. (2018) 'Pendekatan ekologi lanskap dalam pengendalian serangga hama', in *Prosiding Seminar Nasional PEI Cabang Palembang 2018*, pp. 132–143.
- Herlinda, S. *et al.* (2019) 'Arthropods inhabiting flowering non-crop plants and adaptive vegetables planted around paddy fields of freshwater swamps of South Sumatra, Indonesia', *Biodiversitas*, 20(11), pp. 3328–3339.
- Karenina, T. *et al.* (2019) 'Abundance and species diversity of predatory arthropods inhabiting rice of refuge habitats and synthetic insecticide application in freshwater swamps in South Sumatra, Indonesia', *Biodiversitas*, 20(8), pp. 2375–2387. doi: 10.13057/biodiv/d200836.
- Kenis, M. *et al.* (2019) 'Telenomus remus, a candidate parasitoid for the biological control of Spodoptera frugiperda in Africa, is already present on the continent', *Insects*, 10, pp. 1–10. doi: 10.3390/insects10040092.
- Odum, E. P. (1971) *Fundamentals of Ecology*. Third Edit. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- Price, P. W. (1997) 'Insect Ecology'. USA: John Wiley & Sons, Inc.

- Silva, D. M. da *et al.* (2017) 'Biology and nutrition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera : Noctuidae) fed on different food sources', *Scientia Agricola*, 74(February), pp. 18–31.
- Thompson, J. N. (2021) *Encyclopedia Britannica, 2021*. Available at: <https://www.britannica.com/science/ecological-succession>.
- Untung, K. (2006) *Pengantar Pengelolaan Hama Terpadu (Edisi Kedua)*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

## Biodata Penulis



Prof. Dr. Ir. Siti Herlinda, M.Si. adalah alumnus Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya (1989). Tahun 1995 penulis menyelesaikan Magister Sains Bidang Entomologi di IPB Bogor berpredikat cum laude. Pada awal tahun 2000 di usia 34 tahun, wanita berdarah Sekayu kelahiran 20 Oktober 1965 di Palembang ini berhasil meraih gelar Doktor Bidang Entomologi di IPB Bogor dengan predikat cum laude juga. Sejak 1990 hingga sekarang penulis berprofesi sebagai dosen

tetap (PNS) di Universitas Sriwijaya. Dari tahun 2004-sekarang penulis sebagai Kepala Laboratorium Entomologi FP Unsri. Pada Usia 41 tahun, penulis berhasil meraih jenjang fungsional tertinggi sebagai Guru Besar Entomologi: Pengendalian Hayati. Tahun 2007, terpilih sebagai dosen berprestasi tingkat nasional. Penulis pernah meraih the best full paper award pada *International Seminar of Indonesian Society for Microbiology, October 2010*. Tahun 2008 dan 2012 penulis mendapat penghargaan dari Dirjen, Dikti sebagai peneliti penyaji makalah terbaik Hibah Bersaing. Tahun 2010, penulis dinobatkan sebagai peneliti terbaik Universitas Sriwijaya. Tahun 2007 dan 2016 penulis terpilih sebagai dosen berprestasi Universitas Sriwijaya. Penulis mendapatkan penghargaan dari DRPM, Kemenristekdikti sebagai penyaji terbaik skema Ipteks bagi Masyarakat (IbM) tahun 2015. Tahun 2019, penulis terpilih sebagai penyaji terbaik pada seminar nasional hasil penelitian yang diselenggarakan oleh DRPM, Kemenristekdikti.



Dr. Ir. Yulia Pujiastuti, M.S. lahir di Yogyakarta, 18 Mei 1962. Ia menyelesaikan S1 bidang Ilmu Hama Tumbuhan (1986), S2 dibidang Entomologi (1994) di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, dan S3 di bidang Applied Bioscience (2000) di Hokkaido University Jepang. Sejak tahun 1987, dia memulai karirnya sebagai dosen Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya sampai sekarang. Selain menulis puluhan artikel ilmiah tentang serangga hama, dia juga menekuni pengendalian hama secara hayati

dengan menggunakan bakteri entomopatogen *Bacillus thuringiensis*. Aktif mengikuti kegiatan organisasi profesi nasional yaitu Perhimpunan Entomologi Indonesia (PEI) dan organisasi internasional Sustainable Agriculture Food and Energy (SAFE).



Dr. Ir. Chandra Irsan, M.Si. Alumnus Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya (1988) lahir di Lubuk Linggau, pada 19 Februari 1965. Tahun 1997 menyelesaikan Magister Sains Bidang Entomologi di IPB Bogor. Tahun 2004 berhasil meraih gelar Doktor Bidang Entomologi di IPB Bogor. Sejak tahun 1989 hingga sekarang berprofesi sebagai dosen tetap Universitas Sriwijaya. Pernah dipercaya sebagai Ketua Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan FP. Unsri tahun 2007-2011. Pernah mendapat penghargaan sebagai penyaji poster terbaik hasil penelitian hubah Fundamental pada tahun 2004, 2007 dan 2011. Tahun 2007 pernah menjadi penyaji penelitian hibah fundamental terbaik bidang pertanian. Sejak

tahun 1989 sampai sekarang penulis menjadi pengasuh klinik Tanaman Jurusan hama dan Penyakit Tumbuhan FP Unsri.



Dr. Riyanto lahir di Petanggan (Belitang Kabupaten OKU Timur), pada 25 Juli 1970. Pendidikan Sekolah Dasar di SDN 2 Purwodadi, Pendidikan Sekolah Menengah di SMPN1 Gumawang dan Sekolah Menengah Atas di SMAN Belitang. S1 Pendidikan Biologi Unsri, S2 Jurusan Biologi ITB dan S3 Doktor Ilmu Pertanian Kajian Biologi dan Ekofisiologi Serangga tahun 2010 dari Universitas Sriwijaya. Pangilan sehari-hari yanto anak dari pasangan Turunan Hamid (ayah) dan Siron (ibu). Unit kerja di Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Unsri sejak tahun 1999 sampai sekarang. Di Pendidikan Biologi FKIP Unsri sebagai pengasuh mata kuliah Entomologi. Penulis

tercatat sebagai anggota Perhimpunan Entomologi Indonesia.



Arsi, SP, M.Si, Lahir di Jungkal, 17 Oktober 1985 Kecamatan Pampangan . Lulus dari Pendidikan S-1 Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Universitas Sriwijaya (UNSRI) Sumatera Selatan tahun 2008, S-2 Ilmu Tanaman Bidang Kajian Umum Proteksi Tanaman Universitas Sriwijaya (UNSRI) Sumatera Selatan tahun 2014. Penulis Sebagai Tenaga Pengajar S-1 Program Studi Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya Sumatera Selatan dari tahun 2015 sampai sekarang.



Erise Anggraini, S.P., M.Si. Lahir di Palembang Sumatera Selatan pada tanggal 23 Februari 1989. Lulus dari pendidikan S-1 Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan di Universitas Sriwijaya (UNSRI) Sumatera Selatan Tahun 2009, S-2 Universitas Sriwijaya Jurusan Proteksi Tanaman Tahun 2011, saat ini penulis menempuh pendidikan tugas belajar Program Doktor pada Departemen Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian Universiti Putra Malaysia (UPM) di Selangor Malaysia sejak tahun 2019 melalui Beasiswa SEAMEO-SEARCA. Penulis bekerja sebagai Dosen di Program Studi Agroekoteknologi dan Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian

Universitas Sriwijaya sejak Desember 2012. Penulis merupakan anggota Perhimpunan Entomologi Indonesia (PEI).



Dr. Tili Karenina, SP., M.Si. dilahirkan di Kota Palembang Sumsel. Penulis dilahirkan di Kota Palembang pada tanggal 29 Agustus 1985. Penulis menyelesaikan pendidikan S-1 pada Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian di Universitas Sriwijaya (UNSRI) Sumatera Selatan Tahun 2007. Penulis menyelesaikan pendidikan S-2 pada Jurusan Perlindungan Tanaman Universitas Sriwijaya Tahun 2010. Penulis menyelesaikan pendidikan S-3 pada Program Studi Doktor Ilmu Pertanian di Universitas Sriwijaya. Penulis merupakan

peneliti di Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Provinsi Sumatera Selatan dari tahun 2017 sampai sekarang.



Lina Budiarti, S.P., M.Si. dilahirkan di Pahang Asri, 3 Juli 1990. Alumnus Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya. Menyelesaikan studi S1 di jurusan Hama dan Penyakit Tanaman pada tahun 2012. Pada tahun 2015 menyelesaikan Magister Sains di Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya, Palembang. Saat ini menjadi dosen tetap di Program Studi Tanaman Pangan, Jurusan Budidaya Tanaman Pangan, Politeknik Negeri Lampung sejak 2019 hingga sekarang.



Lilian Rizkie, S.P., M.Si. lahir di Palembang pada tanggal 28 desember 1994. Lilian adalah alumnus Program Strata-1 Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya tahun 2015. Pada bulan april 2017, lilian menyelesaikan Magister Sains Bidang Proteksi Tanaman di Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya dengan predikat cumlaude dan menjadi lulusan tercepat dan terbaik fakultas pertanian. Lilian memulai karirnya sebagai dosen pada agustus 2017 dengan mengajar di program Studi Biologi Universitas Islam Negeri (UIN) Raden Fatah Palembang. Sejak Maret 2018 hingga sekarang lilian berprofesi sebagai dosen tetap di Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran.

Dian Maharani Octavia, S.P. lahir di Baturaja, pada tanggal 12 Oktober 1998. Sekarang tercatat sebagai mahasiswa pascasarjana prodi Entomologi peminatan Pengendalian Hama Terpadu pada Institut Pertanian Bogor. Merupakan salah satu *awardee Asean International Mobility Students* pada tahun ajaran 2018/2019 selama satu semester di Universiti Putra Malaysia. Penulis telah menyelesaikan program sarjana di program studi Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya pada tahun 2020 dan memperoleh gelar Sarjana Pertanian.

