



Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*:

Sejarah Penyebaran, Identifikasi, Biologi, dan Musuh Alaminya

Hama *Spodoptera frugiperda*, atau yang lebih dikenal sebagai fall armyworm, telah menjadi salah satu ancaman terbesar bagi pertanian global dalam beberapa tahun terakhir. Sebagai hama invasif, penyebarannya yang cepat dan daya rusaknya yang tinggi telah menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan, terutama pada tanaman pangan utama seperti jagung. Di Indonesia, kehadiran hama ini menjadi tantangan serius dalam menjaga ketahanan pangan dan stabilitas sektor pertanian.

Buku ini dirancang sebagai sumber informasi lengkap mengenai *S. frugiperda*. Di dalamnya, pembaca akan menemukan pembahasan tentang sejarah penyebaran hama ini, cara mengenali gejala serangannya secara akurat, dan memahami aspek-aspek biologinya yang krusial. Tidak hanya itu, buku ini juga mengulas peran penting musuh alami dalam pengendalian *S. frugiperda* sebagai pendekatan yang ramah lingkungan dan mendukung keberlanjutan.

Dengan menyajikan data terkini dan wawasan mendalam, buku ini ditujukan bagi para petani, peneliti, mahasiswa, dan pembuat kebijakan yang ingin memahami lebih jauh tentang fall armyworm serta strategi pengelolaan yang efektif. Kami berharap buku ini dapat menjadi panduan penting dalam upaya bersama melindungi sektor pertanian dan menjamin ketahanan pangan di Indonesia.

Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*: Sejarah Penyebaran, Identifikasi, Biologi, dan Musuh Alaminya

Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*:

Sejarah Penyebaran, Identifikasi, Biologi, dan Musuh Alaminya



penerbit pusaka
pusakamedia@gmail.com
@pusaka_media

ISBN 978-623-438-307-8



9 786234 183078

Puji Lestari | Radix Suharjo
Yuyun Fitriana | I Gede Swibawa | Eko Andrianto

Fall Armyworm ***Spodoptera frugiperda:***

Sejarah Penyebaran, Identifikasi, Biologi, dan Musuh Alaminya

**Undang-undang Republik Indonesia Nomor 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta
Lingkup Hak Cipta**

Pasal 1

Hak Cipta adalah hak eksklusif pencipta yang timbul secara otomatis berdasarkan prinsip deklaratif setelah suatu ciptaan diwujudkan dalam bentuk nyata tanpa mengurangi pembatasan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Ketentuan Pidana Pasal 113

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Fall Armyworm ***Spodoptera frugiperda:***

Sejarah Penyebaran, Identifikasi, Biologi, dan Musuh Alaminya

Puji Lestari | Radix Suharjo | Yuyun Fitriana
I Gede Swibawa | Eko Andrianto



PUSAKA MEDIA

Fall Armyworm Spodoptera Frugiperda:

Sejarah Penyebaran, Identifikasi, Biologi, dan Musuh Alamnya

Penulis:

Puji Lestari
Radix Suharjo
Yuyun Fitriana
I Gede Swibawa
Eko Andrianto

Desain Cover

Haura Rana Farahdiba

Layout

Pusaka Media Team

viii+ 70 hal : 14.8 x 21 cm

Cetakan, Februari 2025

ISBN: 978-623-418-307-8

Penerbit

PUSAKA MEDIA

Anggota IKAPI

No. 008/LPU/2020

Alamat

Jl. Endro Suratmin, Pandawa Raya. No. 100

Korpri Jaya Sukarame Bandarlampung

082282148711

email : cspusakamedia@yahoo.com

Website : www.pusakamedia.com

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian
atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya, buku berjudul *Fall Armyworm Spodoptera frugiperda: Sejarah Penyebaran, Identifikasi, Biologi, dan Musuh Alaminya* ini dapat diselesaikan. Buku ini hadir sebagai jawaban atas kebutuhan informasi yang komprehensif mengenai salah satu hama utama pada tanaman pangan, khususnya jagung, yaitu *Spodoptera frugiperda*.

Hama *S. frugiperda*, atau yang lebih dikenal sebagai fall armyworm, telah menjadi ancaman global bagi sektor pertanian sejak pertama kali dilaporkan. Keberadaan hama ini di Indonesia menjadi tantangan baru bagi petani, akademisi, serta pemerintah dalam menjaga stabilitas produksi pangan nasional.

Melalui buku ini, kami berusaha menyajikan informasi yang lengkap dan terkini terkait sejarah penyebaran *S. frugiperda*, teknik identifikasi yang akurat, aspek biologi yang penting untuk dipahami, serta peran musuh alami dalam pengendaliannya. Pengetahuan ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam mengembangkan strategi pengendalian yang efektif, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

Semoga buku ini dapat memberikan manfaat yang besar bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan pertanian, khususnya dalam menghadapi tantangan hama global seperti *S. frugiperda*.

Bandar Lampung, 16 Januari 2025

Tim Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii

BAB 1

Daerah asal dan penyebaran <i>Spodoptera frugiperda</i>.....	1
1.1 Habitat Asal <i>Spodoptera frugiperda</i>	1
1.2 Penyebaran <i>Spodoptera frugiperda</i> ke Indonesia	3

BAB 2

Identifikasi <i>Spodoptera frugiperda</i>	6
2.1 Identifikasi Morfologi	6
2.2 Identifikasi Molekuler	17
2.3 Pengelompokan <i>Spodoptera frugiperda</i>	22

BAB 3

Biologi <i>Spodoptera frugiperda</i>	26
3.1 Biologi dan Siklus hidup	27
3.2 Inang	29
3.3 Faktor lingkungan yang mempengaruhi perkembangan <i>podoptera frugiperda</i>	32

BAB 4

Musuh Alami <i>Spodoptera frugiperda</i>	37
4.1 Mengapa Musuh Alami Penting?	37
4.2 Jenis Musuh Alami	38
4.3 Predator	51
4.4 Jamur Entomopatogen.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....	55

BAB 1

Daerah asal dan penyebaran

Spodoptera frugiperda

1.1 Habitat Asal *Spodoptera frugiperda*

Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) atau dikenal dengan Fall armyworm (FAW) adalah salah satu serangga yang berkembang biak di wilayah neotropik benua Amerika, mulai dari Argentina di sebelah selatan dan Kanada di bagian utara. Keberadaan *S. frugiperda* akan hilang dengan sendirinya pada akhir musim panas. *S. frugiperda* akan bertahan pada wilayah yang lebih hangat dan menjadi spesies asli bukan migran. Keberadaan *S. frugiperda* tidak menjadi perhatian sampai pada akhirnya serangga ini mengakibatkan kerusakan pada tanaman budidaya terutama pada dataran rendah di bagian Selatan Amerika (Luginbill, 1928).

Dalam artikel yang ditulis oleh Luginbill (1928), pada mulanya, hama ini tidak dikawatirkan merusak tanaman dari famili Graminae, karena hama ini lebih sering ditemukan pada tanaman kapas. Pada tahun 1854, M.D. Landon melaporkan bahwa *S. frugiperda* mengakibatkan kerusakan pertama kali pada grass (Graminae) di New Orleans, Louisiana. Sepuluh tahun kemudian ada laporan

yang sama mengenai kerusakan yang ditimbulkan oleh *S. frugiperda*. Dalam artikel Luginbill (1928) tersebut juga dituliskan bahwa Riley (1868) melaporkan *S. frugiperda* menyerang oat, wheat, dan grass di Missouri. Petani di Missouri mengalami kerugian akibat serangan *S. frugiperda* sebesar \$1.000 pada tahun 1870. “Komisaris Pertanian” di Georgia juga mendaftarkan beberapa tanaman yang menjadi inang dari *S. frugiperda* yaitu grass, cowpeas, dan jagung.

Sejak saat itu, *S. frugiperda* menyebar dan merusak tanaman di negara-negara bagian Amerika Serikat seperti Indiana, Illinois, Mississippi, Alabama, Virginia, Carolina Selatan, Kansas, Oxford Ind., dan Juga Florida. Serangan *S. frugiperda* terus berlanjut dan menimbulkan kerusakan di berbagai jenis tanaman termasuk tanaman hortikultura. Hingga pada tahun 1912 terjadi outbreak di Amerika Serikat. Pada saat itu seluruh negara di bagian timur Rocky Mountains terinvansi *S. frugiperda* yang berasal dari Florida dan Texas. Lalu sebenarnya dari manakah *S. frugiperda* ini berasal sehingga menyebar ke seluruh negara bagian di Amerika Serikat?

Banyak artikel menuliskan bahwa *S. frugiperda* berasal dari wilayah tropis di Amerika Serikat. Perlu ditelusuri dari manakah *S. frugiperda* ini berasal. Luginbill (1928) merangkum banyak laporan mengenai kerusakan yang ditimbulkan oleh *S. frugiperda* di berbagai negara di Amerika Serikat dan mengurutkannya berdasarkan tahun terjadinya serangan. Berdasarkan hal itu, Luginbill (1928) menarik kesimpulan bahwa *S. frugiperda* berasal dari wilayah tropis di Amerika Serikat yang tidak melewati musim dingin, kecuali bagian selatan Florida dan bagian

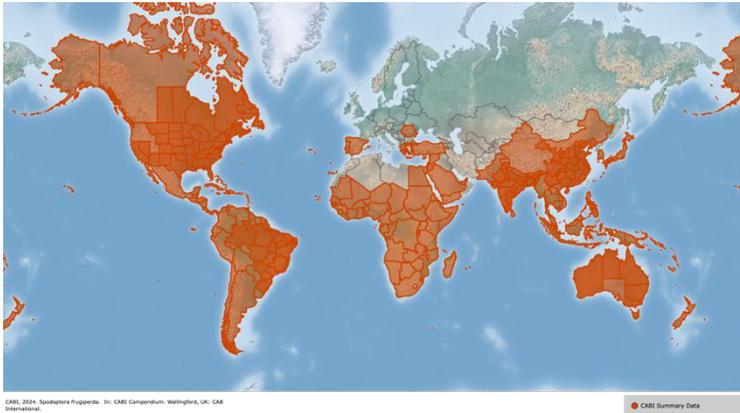
selatan Texas. Penyebaran *S. frugiperda* ke seluruh wilayah di Amerika Serikat ini terjadi secara alamiah. Ngengat dapat bermigrasi melewati Zona Austral. *S. frugiperda* menetap dalam beberapa tahun dan sampai terjadi outbreak *S. frugiperda*. Selama musim general outbreak pada tahun 1912, *S. frugiperda* tidak hanya menginvasi wilayah-wilayah yang telah dilaporkan, namun juga menginvasi zona transisi wilayah Austral.

General outbreak yang begitu parah rupanya berasal dari Mexico dan West Indies, sebuah pulau di Kepulauan Karibia. Selama Desember 1911 sampai Februari 1912, Kelimpahan *S. frugiperda* sangat tinggi di Cuba dan wilayah tropis lainnya. Sepanjang tahun 1912, beberapa wilayah di Amerika Serikat yang terinvasi ternyata berasal dari negara tersebut.

1.2 Penyebaran *Spodoptera frugiperda* ke Indonesia

Berdasarkan uraian sebelumnya diketahui bahwa *S. frugiperda* berasal dari wilayah tropis di Amerika Serikat. Walaupun *S. frugiperda* menyebar ke wilayah subtropis, hama ini akan hilang dengan sendirinya pada akhir musim panas. Sejak ditemukannya *S. frugiperda* hingga tahun 2015 tidak ada laporan mengenai serangan hama ini di wilayah selain Amerika Serikat. Hingga pada tahun 2016 untuk pertama kalinya hama ini dilaporkan merusak tanaman jagung di Afrika. Hama ini kemudian tersebar ke beberapa negara di Afrika yaitu Benin, Nigeria, Sao Tome dan Principe, serta Togo pada tahun 2016 (IITA, 2016; Goergen *et al.*, 2016). Selanjutnya hama ini menyebar sangat cepat ke 30 negara di Benua Afrika (Insecticide Resistance Action

Committee, 2018). Pada tahun 2018, *S. frugiperda* ditemukan di Karnataka, India (Sharanabasappa *et al.*, 2018), Myanmar, Thailand, Srilanka, dan Yunnan, China (Prasanna *et al.*, 2018; Yee *et al.*, 2019; IPPC, 2018; IPPC, 2019). Pada tahun 2019, hama ini dilaporkan menyerang pertanaman jagung di Sumatera Barat (Nonci *et al.*, 2019). Pada saat yang bersamaan, hama ini juga ditemukan di Provinsi Lampung (Trisyono *et al.*, 2019; Lestari *et al.*, 2020), dan Jawa Barat (Maharani *et al.*, 2019; Sartiami *et al.*, 2020). Saat ini, *S. frugiperda* telah menyebar secara global (Gambar 1).



Gambar 1. Peta penyebaran *S. frugiperda* di dunia (Sumber: CABI, 2024). <https://www.cabidigitalibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.29810>.

Hingga saat ini belum jelas bagaimana *S. frugiperda* ini menyebar sampai akhirnya ditemukan di Sumatera. Saat ini, *S. frugiperda* ditemukan pada seluruh wilayah produksi jagung di Indonesia. Ditemukannya *S. frugiperda* di

beberapa daerah di Indonesia dalam waktu bersamaan dengan jarak wilayah yang cukup jauh, menimbulkan pertanyaan apakah benar hama ini baru menginvasi Indonesia pada tahun 2019?

Dalam sebuah artikel yang ditulis oleh Andrianto *et al.* (2024) mengulas bahwa *S. frugiperda* diduga ada di Indonesia jauh sebelum hama ini ramai menjadi perbincangan dunia. Menurut Andrianto *et al.* (2024) *S. frugiperda* ditemukan pada tahun 2015 saat dilakukan koleksi lapang *S. litura*. Pada sampel yang dikoleksi dari lapang, terdapat larva yang saat itu diduga *S. frugiperda* dan didokumentasikan di Laboratorium Ilmu Hama Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Saat itu, populasi di lapang juga masih didominasi oleh *S. litura* sehingga keberadaan *S. frugiperda* juga tidak disadari. Artikel tersebut juga memaparkan bahwa kejadian ini mirip yang terjadi di Uganda, petani telah melihat gejala kerusakan akibat serangan *S. frugiperda* pada awal tahun 2014, lebih awal dari laporan yang dilakukan pada tahun 2016.

Keberadaan *S. frugiperda* di Indonesia diduga terkait dengan pergerakannya dari Suriname. Antara tahun 1890-1939 Indonesia dan Suriname terlibat dalam migrasi orang dan komoditas. Puluhan ribu pekerja termasuk dari Indonesia diberangkatkan ke Suriname untuk bekerja di perkebunan tebu. Saat kembali ke Jawa, diduga terjadi perpindahan komoditas. Misalnya, varietas jagung Suriname yang dikembangkan di Stasiun Percobaan Pertanian pada tahun 1917. Walaupun tidak ada bukti kuat, namun perlu dipahami bahwa saat itu *S. frugiperda* dikenal sebagai hama utama di Suriname (Andrianto *et al.*, 2024).

BAB 2

Identifikasi *Spodoptera frugiperda*

2.1 Identifikasi Morfologi

Dalam pengendalian hama yang efektif dan berkelanjutan, identifikasi morfologi suatu hama menjadi hal sangat penting. Pemahaman karakteristik fisik atau morfologi hama, seperti bentuk tubuh, warna, ukuran, struktur antena, dan sayap, dapat membantu menentukan spesies hama secara akurat dan memilih metode pengendalian yang paling sesuai.

Identifikasi yang tepat memungkinkan petani dan pengelola tanaman untuk menggunakan strategi pengendalian yang spesifik dan menghindari penggunaan pestisida yang berlebihan atau tidak tepat sasaran, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, identifikasi morfologi juga membantu dalam memantau populasi hama di lapangan, mengantisipasi siklus hidupnya, dan memahami interaksi hama tersebut dengan tanaman inang. Dengan demikian, identifikasi morfologi hama adalah langkah awal yang krusial dalam pengelolaan hama yang cerdas, hemat biaya, dan ramah lingkungan.

Seperti halnya serangga dari Ordo Lepidoptera lainnya, *S. frugiperda* juga melewati fase larva. Fase inilah yang menimbulkan kerusakan pada berbagai tanaman

budidaya. Oleh karena itu, penting untuk dapat mengidentifikasi identitas *S. frugiperda* ini, sehingga dapat dilakukan tindakan pengendalian yang tepat. Sebelum terbukanya informasi keberadaan *S. frugiperda* di Indonesia, mungkin saja telah terjadi sebuah kesalahan identifikasi. *S. frugiperda* memiliki banyak ragam variasi warna pada larva, sehingga bisa saja terjadi kesalahan dalam identifikasi. Misalnya, larva hijau *S. frugiperda* terlihat sangat mirip dengan *Helicoverpa armigera*.

A. Telur

Ngengat atau imago *S. frugiperda* meletakkan telur pada permukaan daun tanaman inang. Telur diletakkan secara berkelompok dengan jumlah 100-400 butir telur. Jumlah telur pada setiap kelompok bervariasi, bergantung pada kepiridian imago. Kelompok telur ditutupi oleh benang-benang berwarna putih seperti kapas (Gambar 2). Benang ini berfungsi sebagai pelindung dari parasitoid. Saat baru diletakkan umumnya telur akan berwarna putih kehijauan, kemudian warna akan berubah menjadi lebih gelap cenderung kecoklatan pada saat akan menetas. Telur *S. frugiperda* ini mudah ditemukan pada tanaman jagung di fase vegetatif. Imago menyukai daun muda tanaman jagung untuk meletakkan telurnya.



Gambar 2. Kelompok telur *S. frugiperda* yang berada di permukaan daun jagung.

Walaupun sama-sama diselimuti oleh benang-benang putih, namun karakteristik kelompok telur *S. frugiperda* sedikit berbeda dengan kelompok telur Spodoptera lainnya. Misalnya pada *S. litura* benang-benang yg menutupi permukaan kelompok telur terlihat merata dan halus (Gambar 3). Pada *S. frugiperda*, benang-benang pada permukaan telur menempel mengikuti bentuk butiran telur, sehingga permukaan kelompok telur terlihat bertekstur (Gambar 2).



Gambar 3. Kelompok telur *S. litura*. Sumber: CABI (2014).
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompndium.44520#body-ref-ref-3>.

B. Larva

Larva *S. frugiperda* merupakan fase yang paling mudah untuk diidentifikasi, walaupun neonat sering kali membingungkan dengan *Helicoverpa* sp. dan *S. exigua*. Larva yang baru menetas umumnya masih berkumpul di sekitar kelompok telur. Larva *S. frugiperda* mengalami beberapa perubahan warna. Neonat berwarna pucat (Gambar 4), beberapa variasi warna ditemukan pada fase selanjutnya. Variasi warna *S. frugiperda* dapat berupa hijau muda pada instar kedua dan ketiga. Pada instar akhir warna larva cenderung menjadi coklat. Larva instar ketiga hingga instar akhir merupakan fase yang paling mudah untuk diidentifikasi (Gambar 5).



Gambar 4. Larva yang baru menetas di atas permukaan daun jagung (Foto: Naibaho, 2021)



Gambar 5. Perkembangan berbagai instar larva *S. frugiperda* (Foto: Naibaho, 2021).

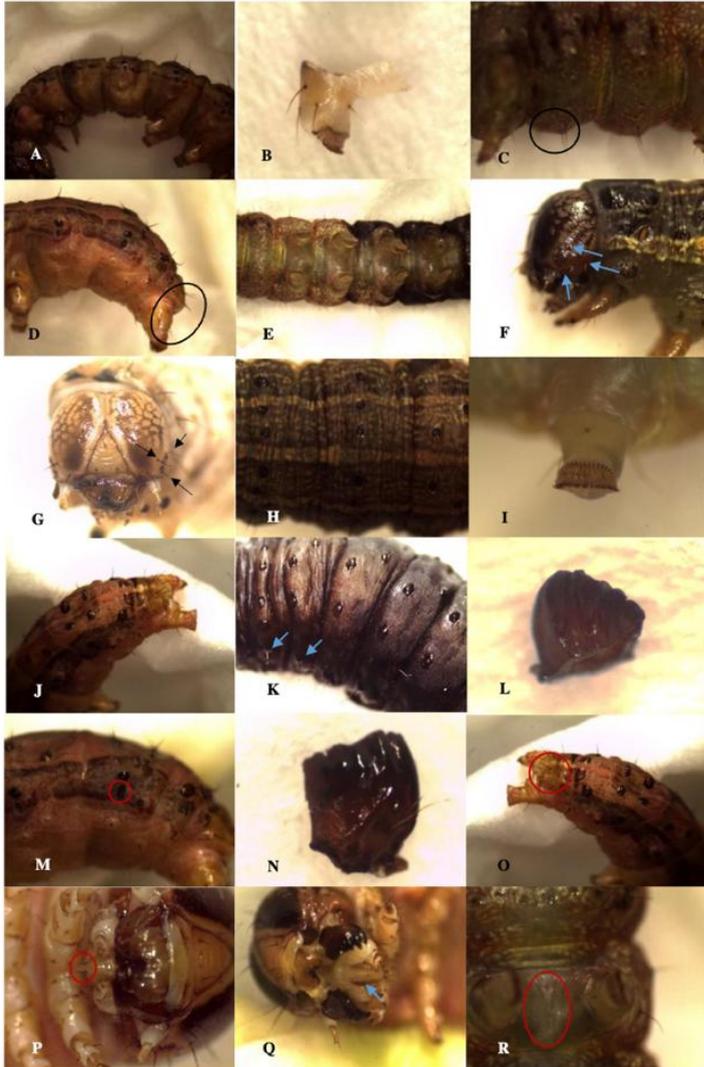
Secara morfologi, larva instar ketiga dapat dikenali dengan mudah karena ciri spesifik dari *S. frugiperda* ini sudah terlihat dengan jelas. Identifikasi morfologi dapat dilakukan dengan kunci mengikuti Godfrey (1987) sebagai berikut:

1'	Seta D2 pada A1-A8 berbentuk ramping seperti rambut halus, dengan pangkal seta lebih besar (Gambar 6A).....	3
3'	Terdapat 3 seta SV pada proleg di A6 (Gambar 6B).....	6
6 (3')	Pada A1, terdapat 2 seta SV (Gambar 6C).....	7
7'	Seta subanal dan seta subanal pada median posterior tidak termodifikasi (Gambar 6D)....	8
8(7')	Proleg pada A3-A6, terdapat crochet pada proleg (Gambar 6E)	13
13'	Jika tubuh bergaris melintang, maka kepala tidak bercela, berbintik-bintik, berjala, atau dengan 3 titik kontras yang berhubungan dengan pangkal seta(Gambar 6F dan G)	14
14'	Permukaan tubuh halus berpaving, granule,cembung (Gambar 6H), proleg pada A3-A6 uniordinal (Gambar 6I).....	17
17'	Seta SD1 pada abdomen ke-9 berbentuk seperti rambut (Gambar 6J).....	18
18(17')	Garis adfrontal ecdysial tidak mencapai takik epicranial, atau ada jarak tertentu dari area epicranial (Gambar 6G)	19
19'	Tergum 1 dengan 2 seta SD, salah satunya ditandai dengan papila (Gambar 6K).....	20
20'	Tidak seperti kombinasi di atas, bagian distal memiliki duri tipis dan tidak memiliki belahan melintang di bagian tengahnya (Gambar 6L).....	22
22'	Spirakel di A8 poisisi menyamping (Gambar 6M)	23

23'	Mandibel dengan 2 seta di bagian luar (Gambar 6N)	26
26'	Bagian tepi pada posterior anal shield melengkung sepenuhnya (Gambar 6O).....	28
28'	Spiracle tidak seperti di atas (Gambar 6M)....	29
29'	Mandibel dengan 4-6 gigi luar berbentuk segitiga yang tereduksi (Gambar 6L)	30
30'	Dua mandibular seta terpisah satu sama lain (Gambar 6L).....	32
32(30')	Mandibel tidak memiliki gigi bagian dalam, tonjolan bagian dalam tidak membesar atau terangkat (Gambar 6L).....	33
33'	Spineret pendek dan lebar, panjangnya kurang dari 2x lebarnya, bagian pangkalnya bervariasi (Gambar 6P).....	38
38(33')	Duri proksimolateral hipofaring tidak ada atau tidak terlihat (Gambar 6Q).....	39
39(38)	Otot pada bagian tengah ventral yang terletak antara proleg A3-A6 membentuk huruf Y (Gambar 6R)	40
40(39)	Bagian dorsal abdomen granul dan berpaving, dapat dilihat pada perbesaran min 25x..... Spodoptera frugiperda (Gambar 7)	

Secara umum, morfologi tubuh larva *S. frugiperda* sejak instar ketiga telah menunjukkan tanda atau ciri yang spesifik yang membuatnya mudah dibedakan dengan Lepidoptera lainnya. Pengetahuan ini penting untuk deteksi cepet saat berada di lapang, sehingga tidak salah dalam mengambil keputusan tindakan pengendalian.

Larva *S. frugiperda* melewati enam instar dengan karakteristik morfologi kepala memiliki garis berbentuk huruf Y terbalik berwarna kekuningan.



Gambar 6. Morfologi *S. frugiperda* yang ditemukan di Provinsi Lampung (Sumber: Lestari et al., 2020).



Gambar 7. Larva *S. frugiperda* instar keempat.

Pada abdomen kedelapan terdapat bintik yang umum disebut dengan pinacula. Pinacula tersusun membentuk persegi. Pada sisi dorso-lateral, terdapat garis yang lurus membentang dari anterior ke posterior berwarna kuning, dan di bagian bawah garis kuning tersebut terdapat garis yang lebih lebar menyerupai pita berwarna lebih gelap (Lestari *et al.*, 2020). Fase larva melewati 12 hingga 20 hari sebelum prepupa. Perbedaan waktu antar individu ini bergantung pada pakan dan suhu lingkungan. Larva kemudian akan berpupa selama 12-14 hari sebelum akhirnya menjadi imago (Nonci *et al.*, 2019).

C. Pupa

Pupa *S. frugiperda* memiliki ciri yang sangat khas. Ciri ini dapat membantu dalam identifikasi. Pupa *S. frugiperda* berbentuk silindris dan berwarna coklat kemerahan hingga coklat gelap. Umumnya, pupa berukuran panjang sekitar 14-18 mm dengan lebar sekitar 4-5 mm. Saat baru terbentuk, pupa akan berwarna lebih terang dan berubah menjadi lebih gelap sejalan dengan umur pupa. Bagian dorsal pupa terlihat halus dan sedikit mengkilap, tanpa adanya rambut atau tonjolan yang mencolok (Gambar 8). Masa pupa berlangsung selama 12-14 hari (Nonci et al., 2019). Pupa betina memiliki jarak anal slot yang lebih panjang dibanding dengan pupa jantan.

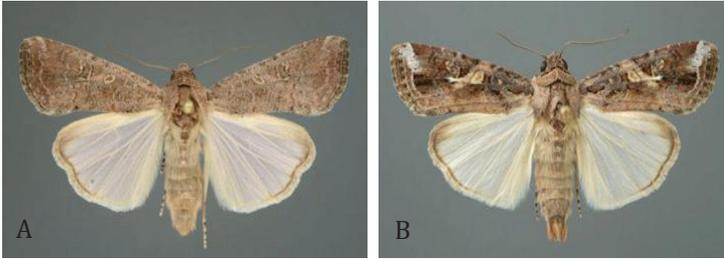


Gambar 8. Pupa *S. frugiperda*.

Pada habitat aslinya, pupa *S. frugiperda* dapat ditemukan di permukaan tanah atau di bawah serasah-serasah. Larva intar akhir akan menjatuhkan diri ke permukaan tanah dan mencari tempat berlindung di bawah serasah untuk berpupa. Fase pupa ini merupakan tahap istirahat yang penting sebelum metamorfosis menjadi imago atau ngengat dewasa.

D. Imago

Imago atau fase dewasa *S. frugiperda* memiliki beberapa ciri morfologi yang membedakannya dari spesies Spodoptera lainnya. *S. frugiperda* memiliki bentang sayap sekitar 3-4 cm, sayap akan terlipat di atas tubuh saat istirahat. Sayap depan imago *S. frugiperda* berwarna coklat gelap dan sayap belakang berwarna putih kotor dan keabuan di bagian tepi sayapnya. Pada tepi sayap depan terdapat garis hitam dan terdapat pola menyerupai jam pasir di bagian tepi luar garis. Sayap depan imago jantan memiliki corak yang lebih tegas dibandingkan dengan sayap imago betina. Jika dilihat dari ukurannya, sayap jantan juga relatif lebih kecil dibandingkan dengan betina. Corak pada sayap imago betina lebih samar dibandingkan dengan corak sayap pada imago jantan (Gambar 9).



Gambar 9. Imago *S. frugiperda*; A. Imago betina; B. Imago Jantan (Sumber: Nonci *et al.*, 2019).

2.2 Identifikasi Molekuler

Identifikasi molekuler suatu hama menjadi penting dalam pengelolaan hama yang presisi dan efektif, terutama di era pertanian modern yang menuntut solusi yang cepat dan akurat. Dengan teknik identifikasi molekuler, spesies hama secara detail dapat dikenali hingga level genetik. Hal ini sangat bermanfaat karena beberapa spesies hama memiliki morfologi yang mirip tetapi menunjukkan perilaku atau dampak berbeda pada tanaman.

Identifikasi molekuler membantu mengatasi kendala tersebut dan memungkinkan identifikasi secara cepat bahkan pada tahap larva atau telur yang sulit dibedakan secara visual. Teknik ini juga mendukung pemantauan keberadaan hama yang lebih akurat, terutama untuk spesies invasif atau yang resisten terhadap pestisida. Informasi genetik yang tepat dapat membantu pengelolaan hama yang sesuai, sehingga lebih efisien dan terarah, serta mengurangi risiko kerugian yang lebih besar akibat salah identifikasi.

Identifikasi molekuler *S. frugiperda* dapat dilakukan dengan berbagai metode. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode Buffer TNES. Proses identifikasi molekuler dimulai dengan ekstraksi DNA dari tubuh serangga, diikuti oleh amplifikasi fragmen DNA target menggunakan teknik PCR (*Polymerase Chain Reaction*).

Salah satu gen yang sering digunakan dalam identifikasi serangga adalah gen mitokondria *cytochrome c oxidase I* (COI), yang merupakan bagian dari metode DNA *barcoding*. Identifikasi serangga menggunakan gen mitokondria *cytochrome c oxidase I* (COI) menjadi populer karena gen ini memiliki karakteristik unik yang sangat cocok untuk membedakan spesies. COI juga memiliki beberapa kelebihan yaitu:

1. Variasi Antarspesies yang Tinggi

Gen COI menunjukkan tingkat variasi genetik yang tinggi di antara spesies berbeda, tetapi relatif stabil di dalam spesies yang sama. Hal ini membuatnya ideal untuk memisahkan satu spesies dari spesies lain dengan akurasi tinggi (Hebert *et al.*, 2003).

2. Panjang Gen yang Sesuai

Gen COI memiliki panjang sekitar 650 bp (*base pair*), yang cukup pendek untuk dianalisis dengan mudah menggunakan teknik PCR (*Polymerase Chain Reaction*), tetapi cukup panjang untuk memberikan informasi genetik yang diperlukan untuk identifikasi spesies (Rahayu & Jannah, 2019).

3. Konservasi Fungsi di Semua Serangga

Gen COI adalah bagian penting dari sistem respirasi mitokondria (kompleks IV), sehingga ditemukan di semua

serangga dan relatif mudah diakses tanpa variasi yang ekstrem dalam fungsi (Hebert *et al.*, 2003).

4. Mitokondria Lebih Mudah Diekstraksi

DNA mitokondria lebih mudah diekstraksi dibandingkan DNA inti karena terdapat dalam jumlah banyak di dalam sel. Ini sangat membantu untuk mengidentifikasi spesies dengan sampel kecil atau yang sudah terdegradasi.

5. Kompatibilitas dengan DNA Barcoding

COI adalah gen standar dalam metode DNA barcoding, yaitu pendekatan identifikasi spesies berbasis genetik yang didukung oleh database global seperti BOLD (*Barcode of Life Data Systems*). Metode ini memungkinkan identifikasi spesies serangga dengan membandingkan urutan DNA sampel dengan referensi.

6. Universal Primer untuk PCR

Primer universal untuk gen COI telah dirancang untuk bekerja pada berbagai kelompok serangga. Ini memudahkan proses amplifikasi DNA tanpa harus menyesuaikan primer untuk setiap spesies.

7. Studi Evolusi dan Filogenetik

COI juga digunakan untuk memahami hubungan evolusi antarspesies karena gen ini memiliki laju mutasi yang cukup konsisten, yang dapat mencerminkan jarak filogenetik antarorganisme (Tang *et al.*, 2014).

Fragmen DNA yang dihasilkan dibandingkan dengan database genetik seperti BOLD (*Barcode of Life Data Systems*) atau GenBank untuk menentukan spesies serangga.

A. Ekstraksi DNA, PCR, Sekuensing

Ekstraksi DNA dimulai dengan proses pengambilan jaringan tubuh larva dapat berupa abdomen, toraks, tungkai dan lain sebagainya. Bagian abdomen umumnya dipilih untuk memudahkan saat proses lisis, karena bagian abdomen adalah bagian yang paling mudah dihancurkan atau digerus. Dalam proses ekstraksi DNA diambil 1 cm abdomen, kemudian dimasukkan dalam tabung ependorf 1,5 ml lalu ditetesi dengan 5 μ l Proteinase K (10mg/ml) dan digerus menggunakan ujung tip pipet tetes yang telah dibakar terlebih dahulu.

Sampel yang telah digerus diberi sebanyak 300 μ l buffer TNES (Tris HCl 1M(pH 7.5), NaCl 5M, EDTA 0.5 M, ddH₂O, and 2% SDS) kemudian diinkubasi selama dua sampai tiga jam dengan suhu 60 °C. Setelah proses inkubasi, ditambahkan 85 μ l NaCl 5M kemudian disentrifuge selama 10 menit dengan kecepatan 14.000 rpm.

Sebanyak 400 μ l supernatan dipindahkan ke tabung baru dan ditambahkan etanol 100% (dalam kondisi dingin) sebanyak satu volume (400 μ l) kemudian disentrifuge kembali dengan kecepatan 14.000 rpm selama 5 menit. Supernatan kemudian dibuang dari tabung dan pellet dikeringanginkan selama 24 jam. Setelah itu, ditambahkan 50 μ l buffer TE kemudian disimpan pada suhu -4 °C untuk digunakan lebih lanjut. Proses sentifugasi dilakukan dengan menggunakan microcentrifuge Microspin12 (Biosan, Latvia).

Amplifikasi DNA dilakukan untuk memperoleh urutan gen COI pada barcode region. Amplifikasi DNA barcode dilakukan menggunakan primer LCO 1490 dan HCO 2198 (Folmer *et al.*, 1994). Proses amplifikasi dilakukan dengan

menggunakan Sensoquest Thermal Cycler Machine (Germany). Proses PCR dilakukan dengan total volume 25 μ l dengan komposisi 1 μ l DNA template, 12,5 μ l master mix (2x MyTaq HS Red Mix, Biorline, USA), masing-masing 1 μ l primer LCO LCO 1490 dan HCO 2198 dengan konsentrasi 10 μ M, serta 9,5 μ l air destilasi steril.

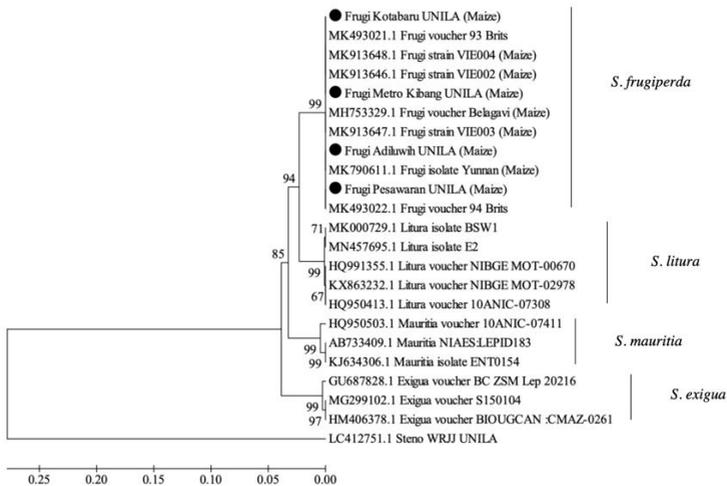
Proses inisiasi satu siklus dilakukan pada suhu 95 °C selama 5 menit. Kemudian denaturasi sebanyak 30 siklus pada suhu 95°C selama 1 menit, primer annealing pada suhu 54 °C selama 1 menit, primer extension pada suhu 72 °C selama 1 menit, dan satu elongation selama lima menit pada suhu 72 °C.

Hasil PCR kemudian dilihat dengan proses elektroforesis pada 0,5% gel agarose dengan 1 μ l ethidium bromide (EtBr; 10 mg/ml) pada 55 volt selama 70 menit, kemudian divisualisasikan pada DigiDoc UV transilluminator (UVP, USA). Hasil PCR kemudian dikirim ke 1stBase Malaysia untuk di sekuensing. Hasil sekuensing kemudian dianalisis menggunakan program Bio Edit for windows (Hall, 1999). Urutan basa (sekuen) kemudian di submit ke Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) dan Barcode of Life and Data system (BOLD) (http://boldsystems.org/index.php/IDS_OpenI_dEngine) untuk mengetahui kemungkinan identitas sampel.

Pohon filogenik dibuat dengan Mega 7 for windows (Kumar *et al.*, 2016) menggunakan metode UPGMA (Unweighted-pair Group Method with Arithmetic means). Strain *S. frugiperda*, *S. litura*, *S. exigua*, dan *S. mauritia* digunakan sebagai referensi, serta *Stenocranus pasificus*

(Acc. no. LC412751.1) digunakan sebagai outgrup diperoleh dari NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). Hasil sekuen di alignment dengan menggunakan clustal W pada Mega 7 for windows (Kumar *et al.*, 2016) dan dibandingkan dengan sekuen COI *S. frugiperda* dari NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Dendrogram hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 10 dan telah dipublikasikan (Lestari *et al.*, 2020).



Gambar 10. Dendrogram hasil analisis sekuen *S. frugiperda*. Beberapa sekuen *S. frugiperda* dari beberapa negara dimasukkan sebagai pembandingan (Sumber Lestari *et al.* (2020)).

2.3 Pengelompokan *Spodoptera frugiperda*

S. frugiperda terdiri dari dua strain genetik yang berbeda, yaitu strain jagung (*corn strain*, C-strain) dan strain padi (*rice strain*, R-strain). Perbedaan antara kedua

strain ini terlihat pada preferensi inangnya. Strain jagung lebih banyak ditemukan pada tanaman jagung, kapas, dan sorgum, sedangkan strain padi cenderung menyerang tanaman padi dan berbagai rumput liar. Pemisahan berdasarkan inang ini membantu dalam memahami pola penyebaran dan infestasi hama di berbagai wilayah (Nagoshi *et al.*, 2012).

Secara genetik, kedua strain memiliki perbedaan pada beberapa gen mitokondria, yang sering digunakan untuk membedakan strain ini secara molekuler. Penelitian menggunakan analisis DNA mitokondria menunjukkan bahwa populasi hama invasif *S. frugiperda* di berbagai belahan dunia lebih dekat dengan strain jagung dibandingkan strain padi. Hal ini memberikan petunjuk tentang jalur migrasi dan asal usul penyebaran hama ini (Nagoshi *et al.*, 2012).

Selain preferensi inang, kedua strain ini juga memiliki perbedaan perilaku. Strain jagung cenderung lebih aktif pada awal malam hari dibandingkan strain padi, yang aktif mendekati tengah malam. Perbedaan waktu aktivitas ini memengaruhi pola perkawinan dan penyebaran kedua strain di alam (Dumas *et al.*, 2015).

Perbedaan morfologis antara strain jagung dan padi hampir tidak ada, sehingga identifikasi di lapangan sulit dilakukan. Oleh karena itu, metode molekuler seperti PCR dan analisis mikrosatelit menjadi alat yang penting untuk membedakan kedua strain ini secara akurat (Groot *et al.*, 2008).

Distribusi geografis kedua strain ini juga berbeda. Di Amerika Serikat, strain jagung lebih umum ditemukan di wilayah yang banyak menanam jagung, sementara strain padi lebih banyak ditemukan di wilayah selatan dengan luas lahan padi. Di Asia, seperti di Indonesia, kedua strain ditemukan, tetapi strain jagung cenderung lebih dominan karena prevalensi jagung sebagai tanaman utama.

Selain faktor genetik dan ekologis, adaptasi fisiologis juga berperan dalam perbedaan kedua strain ini. Strain jagung menunjukkan toleransi yang lebih tinggi terhadap insektisida tertentu dibandingkan strain padi, sehingga pengendalian hama sering kali harus disesuaikan dengan strain yang dominan di suatu wilayah (Pashley, 1988).

Penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa strain jagung lebih kompetitif dalam hal reproduksi dan pertumbuhan dibandingkan strain padi, terutama pada tanaman jagung. Hal ini menyebabkan strain jagung sering kali mendominasi infestasi pada lahan yang menanam jagung secara intensif (Nagoshi & Meagher, 2022).

Meskipun berbeda secara genetik, kedua strain ini dapat saling kawin silang, menghasilkan keturunan yang memiliki karakter campuran. Hal ini menambah kompleksitas dalam memahami dinamika populasi *S. frugiperda* di alam. Kawin silang ini juga dapat memengaruhi efektivitas metode pengendalian hama yang didasarkan pada perbedaan genetik (Groot *et al.*, 2008).

Di Indonesia, pengelompokan strain ini masih membutuhkan penelitian lebih lanjut. Dengan iklim tropis yang mendukung pertumbuhan berbagai jenis tanaman, baik strain jagung maupun padi memiliki potensi untuk

berkembang dengan baik. Pemahaman tentang distribusi strain ini sangat penting untuk merancang strategi pengendalian hama yang lebih efektif.

Secara keseluruhan, pengelompokan *S. frugiperda* berdasarkan strain jagung dan padi memberikan wawasan penting untuk pengelolaan hama. Dengan memahami perbedaan genetik, ekologis, dan perilaku kedua strain ini, para ahli dapat mengembangkan strategi pengendalian yang spesifik dan efektif untuk meminimalkan kerugian pada pertanian.

BAB 3

Biologi *Spodoptera frugiperda*

Mempelajari biologi hama memiliki peran yang sangat penting, terutama bagi yang terlibat dalam sektor pertanian dan kehutanan. Hama merupakan hewan yang merugikan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Pemahaman mendalam mengenai biologi hama membantu dalam memahami siklus hidup, pola makan, serta cara hama bereproduksi dan berinteraksi dengan lingkungannya. Dengan pemahaman ini, dapat dikembangkan strategi pengendalian yang lebih efektif dan ramah lingkungan.

Mempelajari biologi hama dapat membantu dalam menentukan waktu terbaik untuk melakukan tindakan pengendalian. Hal ini tidak hanya lebih efektif tetapi juga dapat mengurangi biaya pengendalian. Selain itu, dengan pemahaman yang lebih baik tentang biologi hama, dapat dikembangkan metode pengendalian alternatif, seperti pengendalian hayati atau manipulasi lingkungan, yang berfokus pada menekan populasi hama secara alami.

Dalam dunia akademis, mempelajari biologi hama juga membuka peluang bagi para ilmuwan untuk mempelajari interaksi antara organisme dan ekosistemnya. Interaksi antara hama dan lingkungannya sering kali sangat kompleks, melibatkan berbagai faktor abiotik dan biotik.

Misalnya, perubahan iklim dapat memengaruhi pola migrasi dan siklus hidup beberapa spesies hama. Dengan mempelajari faktor-faktor ini, dapat diperkirakan dampak dari perubahan lingkungan terhadap populasi hama di masa depan. Pengetahuan ini sangat penting bagi perencana lingkungan dan pemangku kebijakan dalam merancang strategi adaptasi yang lebih baik terhadap perubahan iklim.

3.1 Biologi dan Siklus hidup

Keberadaan *S. frugiperda* di Indonesia dilaporkan menyerang pertanaman jagung. Hama ini meletakkan telur secara berkelompok di atas permukaan daun. Beberapa referensi menyebutkan bahwa imago hama ini meletakkan telur di bawah permukaan daun. Namun temuan di lapang menunjukkan bahwa sebagian besar telur *S. frugiperda* berada di permukaan atas daun dan umumnya berada di daun muda.

Dalam satu siklus hidupnya, *S. frugiperda* memerlukan waktu hidup kurang lebih 30 hari. Imago betina akan meletakkan telur pada permukaan daun secara berkelompok. Dalam satu kelompok telur terdiri dari 200-400 butir yang disusun bertumpuk diselimuti benang-benang halus. Telur yang baru diletakkan akan berwarna kehijauan dan berubah menjadi abu kecoklatan saat akan menetas. Telur akan menetas dalam waktu kurang lebih 3-4 hari setelah diletakkan. Imago betina mampu bertelur hingga empat kali dalam satu siklus hidupnya.

Pada tanaman jagung, larva yang baru menetas akan berkelompok disekitar telur sebelum akhirnya menyebar ke seluruh bagian daun muda. Umumnya neonat akan

memakan eksuvia telur sebagai nutrisi tambahan (*oophagy*). Prilaku *oophagy* ini umum ditemukan pada banyak spesies Lepidoptera. Eksuvia telur mengandung protein, lemak, dan nutrisi lain yang sangat berguna bagi neonat. *Oophagy* juga merupakan salah satu mekanisme mengurangi persaingan pada tahap awal kehidupan. Pada awal perkembangannya, neonat atau larva memakan epidermis daun. Larva juga ditemukan bersifat kanibalisme yaitu memakan sesama larva yang lebih lemah. Aktivitas makan sesama ini sering ditemukan pada ordo Lepidoptera seperti pada *H. armigera* dan *S. litura*.

S. frugiperda adalah spesies hama penting yang sering menyerang tanaman jagung dan tanaman pangan lainnya. Hama ini berasal dari daerah tropis dan subtropis Amerika, tetapi telah menyebar luas ke berbagai benua, termasuk Afrika dan Asia, sebagai hama invasif yang sangat merugikan. *S. frugiperda* dikenal sebagai ancaman serius bagi pertanian karena kemampuan adaptasinya yang sangat baik dan siklus hidupnya yang cepat.

Dalam hal biologi dan siklus hidupnya, *S. frugiperda* mengalami empat tahap perkembangan utama: telur, larva (ulat), pupa, dan dewasa (ngengat). Betina dewasa bertelur secara berkelompok pada daun tanaman inangnya, biasanya pada bagian bawah daun untuk perlindungan. Dalam waktu 2-3 hari, telur-telur ini menetas menjadi larva. Fase larva adalah tahap paling merusak karena larva yang baru menetas akan mulai memakan daun dan jaringan tanaman. Larva melalui beberapa instar atau pergantian kulit sebelum akhirnya bermetamorfosis menjadi pupa. Siklus hidup

keseluruhan berlangsung cepat, dengan durasi antara 30-40 hari tergantung pada suhu dan kelembapan lingkungan.

Larva *S. frugiperda* sangat rakus dan mampu merusak tanaman hingga ke titik tumbuh. Hal ini dapat berakibat pada menurunnya hasil panen. *S. frugiperda* dapat menyerang daun, pucuk, tassel, dan juga tongkol jagung. Selain mampu merusak berbagai bagian tanaman, populasi hama ini juga cepat berkembang sehingga pengendalian hama *S. frugiperda* cukup sulit dilakukan.

3.2 Inang

Beberapa literatur menyebutkan bahwa *S. frugiperda* merupakan hama polyfag dengan kisaran inang yang sangat luas yaitu (100-353 spesies tanaman) (Montezano *et al.*, 2018; Sharanabasappa *et al.*, 2018). Hama *S. frugiperda* juga dapat ditemukan pada ryegrass, gandum, sorgum, millet, tebu, padi, dan sayuran (Srikanth *et al.*, 2018, Song *et al.*, 2020; Pitre *et al.*, 1983; Hruska, 2019; Sharanabasappa *et al.*, 2018). Beberapa sumber menyebutkan bahwa *S. frugiperda* lebih menyukai tanaman jagung dibandingkan tanaman lain untuk dijadikan inangnya walaupun hama ini bersifat polyfag (Hruska, 2019).

A. Gejala Kerusakan

Larva *S. frugiperda* dikenal sangat aktif dalam merusak tanaman. Serangan *S. frugiperda* mengakibatkan menurunnya produktivitas tanaman jagung (Maharani *et al.*, 2019). Seluruh stadia larva *S. frugiperda* hidup dan menyerang tanaman jagung dari awal tanam hingga

menjelang panen (Santos *et al.*, 2003). Larva instar awal memakan epidermis daun (Navik *et al.*, 2021) hingga membentuk jendela putih memanjang (Trisyono *et al.*, 2019) (Gambar 11A). Titik tumbuh pada tanaman jagung menjadi tempat yang paling disukai oleh larva setelah memasuki instar ketiga. Larva akan menetap dan makan bagian daun yang masih menggulung, sehingga jika daun terbuka akan terlihat lubang pada daun (Trisyono *et al.*, 2019) (Gambar 11B).



Gambar 11. Gejala serangan *S. frugiperda*; A. Jendela transparan pada tanaman jagung; B. Gejala serangan pada titik tumbuh (dokumentasi pribadi).

Serangan berat *S. frugiperda* pada daun akan menghabiskan seluruh bagian daun kecuali tulang daun. *S. frugiperda* juga ditemukan merusak bunga jantan, bunga betina, dan tongkol jagung. Kerusakan paling parah diakibatkan oleh larva instar akhir (Capinera, 2020; Nonci *et*

al., 2019). Tanda adanya serangan *S. frugiperda* adalah adanya kotoran berwarna coklat kemerahan dan mirip dengan serbuk gergaji pada bagian yang diserang (Nonci et al., 2019).

B. Kerugian yang ditimbulkan

Hama *S. frugiperda* dinyatakan sebagai hama penting yang mengakibatkan kehilangan hasil dan berdampak signifikan pada perekonomian (Overton et al., 2021). Akibat serangan *S. frugiperda* terjadi penurunan hasil dan peningkatan biaya pengendalian. Di beberapa negara, insektisida kimia sintetik digunakan sebagai langkah tanggap darurat terhadap invasi *S. frugiperda* (Prasanna et al., 2018). Invasi *S. frugiperda* di Afrika berakibat dikeluarkannya kebijakan penggunaan berbagai jenis insektisida untuk tindakan darurat pengendalian (Kumela et al., 2018), sehingga mengakibatkan tingginya angka penggunaan insektisida. Di Brazil, aplikasi insektisida dalam satu musim tanam jagung mencapai lima kali aplikasi (Ribeiro et al., 2014). Kondisi yang sama juga terjadi di Indonesia, petani melakukan aplikasi insektisida lebih dari empat kali dalam satu musim tanam.

Kehilangan hasil akibat serangan *S. frugiperda* pada tanaman jagung dilaporkan di seluruh dunia. Variasi kehilangan hasil terjadi antar negara misalnya di Brazil mencapai 34% (Lima et al., 2009), di Zimbabwe dilaporkan 11,57% (Baudron et al., 2019), di Kenya >30% (Groote et al., 2020), India mencapai 33% (Balla et al., 2019). Amerika Serikat kehilangan hasil jagung antara 5-20% (Capinera,

2020), dan Zambia 35% (Rwomushana *et al.*, 2018). Keberadaan *S. frugiperda* saat ini menjadi perhatian global (Koffi *et al.*, 2020). Hingga saat ini kehilangan hasil akibat serangan *S. frugiperda* di Indonesia belum pernah dilaporkan.

Serangan *S. frugiperda* dapat menyebabkan kerusakan signifikan pada tanaman jagung, yang merupakan salah satu komoditas pangan utama di Indonesia. Larva *S. frugiperda* menyerang bagian pucuk tanaman, merusak daun dan tongkol muda, yang berdampak pada penurunan hasil panen. Kerugian hasil panen yang disebabkan oleh hama ini dapat mencapai 20–50% jika tidak dikendalikan dengan baik. Kondisi ini berdampak langsung pada ketahanan pangan dan kesejahteraan petani di Indonesia.

3.3 Faktor lingkungan yang mempengaruhi perkembangan *Spodoptera frugiperda*

S. frugiperda merupakan hama yang sangat merusak dengan kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan. Faktor-faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan curah hujan memainkan peran penting dalam menentukan laju perkembangan, reproduksi, dan penyebaran hama ini. Suhu lingkungan secara langsung mempengaruhi siklus hidup *S. frugiperda*.

Suhu merupakan faktor kunci dalam menentukan siklus hidup *S. frugiperda*. Penelitian menunjukkan bahwa suhu optimal untuk perkembangan hama ini adalah antara 26–30°C. Pada suhu ini, *S. frugiperda* mampu menyelesaikan siklus hidupnya lebih cepat, mulai dari telur

hingga menjadi ngengat dewasa. Suhu yang lebih rendah memperlambat laju pertumbuhan, sementara suhu di atas 35°C dapat meningkatkan tingkat kematian. Suhu yang berfluktuasi dalam rentang optimal dapat mempercepat perkembangan *S. frugiperda* dibandingkan dengan suhu konstan (Wang *et al.*, 2020). Oleh karena itu, Indonesia memiliki iklim yang sangat mendukung perkembangan dan reproduksi *S. frugiperda* sepanjang tahun. Indonesia memiliki iklim tropis yang hangat dan lembap sepanjang tahun, yang secara alami mendukung siklus hidup *S. frugiperda*. Dengan suhu yang jarang berada di bawah 25°C dan tingkat kelembapan yang tinggi, hama ini dapat berkembang dan menyebar dengan cepat. Kondisi ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara yang rawan terhadap serangan *S. frugiperda*, terutama di daerah-daerah penghasil jagung utama seperti Sumatera, Jawa, Sulawesi, dan Nusa Tenggara.

Walaupun sebelumnya ada dugaan bahwa *S. frugiperda* telah lama ada di Indonesia dengan populasi yang rendah sehingga tidak diperhatikan sebagai hama penting. Seiring dengan terjadinya perubahan iklim global, terjadi peningkatan populasi *S. frugiperda* secara bersamaan di dunia termasuk di seluruh wilayah Indonesia. Ledakan populasi sering terjadi selama musim kemarau, terutama saat curah hujan rendah dan suhu tinggi, yang menjadi kondisi optimal bagi perkembangan larva dan ngengat.

Kelembapan juga memegang peran penting dalam dinamika populasi *S. frugiperda*. Kelembapan tinggi yang umumnya terjadi di dataran rendah dan wilayah tropis

menciptakan kondisi ideal bagi aktivitas makan dan reproduksi hama ini. Kelembapan yang tinggi menjaga kelangsungan hidup larva dan mempercepat perkembangan telur. Di Indonesia, tingkat kelembapan rata-rata yang berkisar antara 70–90% di sebagian besar wilayah semakin memperkuat potensi penyebaran *S. frugiperda*. Menurut penelitian, ulat grayak lebih dominan di dataran rendah dengan suhu hangat dan kelembapan yang tinggi (BSN, 2024).

Curah hujan memiliki dampak yang kompleks terhadap populasi *S. frugiperda*. Intensitas hujan yang tinggi dapat mengurangi populasi hama ini melalui mekanisme fisik, seperti mencuci telur dan larva dari tanaman inang. Namun, periode kering yang diikuti oleh curah hujan dan kelembapan tinggi dapat memicu ledakan populasi ulat grayak, terutama jika disertai dengan ketersediaan makanan yang melimpah.

Selain faktor-faktor tersebut, perubahan iklim global yang menyebabkan pergeseran pola cuaca turut mempengaruhi dinamika populasi *S. frugiperda*. Perubahan ini dapat memperluas area distribusi hama ke wilayah yang sebelumnya tidak terdampak, meningkatkan risiko infestasi pada tanaman jagung dan tanaman inang lainnya. Perubahan iklim global yang menyebabkan pergeseran pola cuaca juga berdampak pada distribusi *S. frugiperda* di Indonesia. Peningkatan suhu global dan periode musim kemarau yang lebih panjang memberikan peluang bagi hama ini untuk menyebar ke daerah-daerah baru yang sebelumnya tidak terdampak. Wilayah-wilayah yang sebelumnya memiliki curah hujan tinggi dan suhu sejuk kini

menjadi lebih kering dan hangat, menciptakan lingkungan yang lebih ramah bagi *S. frugiperda*. Fenomena ini dapat memperluas distribusi hama dan meningkatkan ancaman terhadap ketahanan pangan nasional. Ledakan populasi *S. frugiperda* terjadi karena adanya perubahan iklim, terutama periode kering diikuti curah hujan dan kelembapan yang tinggi yang disertai makanan yang melimpah.

Interaksi antara faktor-faktor lingkungan ini juga dapat mempengaruhi efektivitas musuh alami *S. frugiperda*, seperti parasitoid dan predator. Misalnya, suhu dan kelembapan yang ekstrem dapat menurunkan aktivitas dan keberhasilan reproduksi musuh alami, sehingga mengurangi tekanan alami terhadap populasi hama. Meningkatnya populasi *S. frugiperda* disebabkan oleh faktor biotik seperti tanaman inang dan abiotik seperti suhu, kelembapan, dan curah hujan (Barfield & Ashley, 1987).

Selain itu, praktik pertanian seperti irigasi dan pemupukan dapat memodifikasi iklim mikro di sekitar tanaman, yang pada gilirannya mempengaruhi perkembangan *S. frugiperda*. Pengelolaan air yang berlebihan atau kurang dapat menciptakan kondisi yang mendukung atau menghambat pertumbuhan hama ini.

Pemahaman mendalam tentang bagaimana faktor-faktor lingkungan mempengaruhi *S. frugiperda* sangat penting untuk pengembangan strategi pengendalian hama yang efektif dan berkelanjutan. Dengan mempertimbangkan variabel-variabel lingkungan, petani dan peneliti dapat merancang metode pengendalian yang lebih adaptif dan responsif terhadap dinamika populasi hama di lapangan.

Dalam konteks perubahan iklim yang terus berlangsung, penelitian lanjutan diperlukan untuk memprediksi bagaimana *S. frugiperda* akan beradaptasi terhadap kondisi lingkungan yang berubah, serta bagaimana intervensi manusia dapat memitigasi dampak negatif hama ini terhadap produksi pertanian. Dengan demikian, integrasi data iklim, ekologi hama, dan praktik pertanian menjadi kunci dalam upaya pengendalian *S. frugiperda* yang efektif dan berkelanjutan di masa depan.

BAB 4

Musuh Alami *Spodoptera frugiperda*

Pengendalian hayati merupakan pengendalian organisme pengganggu tumbuhan (OPT) yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan makhluk hidup sebagai musuh alaminya. Komponen utama dari pengendalian hayati adalah musuh alami yaitu parasitoid, predator, dan entomopatogen (Sopialena, 2018). Pengendalian *S. frugiperda* dengan musuh alami adalah strategi pengelolaan hama menggunakan organisme yang secara alami memangsa, menginfeksi, atau memparasit hama tersebut. *S. frugiperda* merupakan hama invasif yang merusak tanaman jagung dan berbagai tanaman pangan lainnya, sehingga pengendaliannya menjadi sangat penting untuk mencegah kerugian hasil panen.

4.1 Mengapa Musuh Alami Penting?

Penggunaan musuh alami menjadi alternatif ramah lingkungan dibandingkan dengan pestisida kimia. Pestisida dapat merusak ekosistem, membunuh serangga bermanfaat, dan menyebabkan resistensi hama. Sebaliknya, musuh alami membantu menjaga keseimbangan ekosistem secara berkelanjutan. **Musuh alami** adalah organisme yang secara alami membantu mengendalikan populasi hama

dengan memangsa, menginfeksi, atau memarasit hama. Musuh alami berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan merupakan komponen kunci dalam pengendalian hama terpadu (PHT). Pemanfaatan musuh alami juga menciptakan keseimbangan populasi hama yang lebih stabil. Dengan memahami dan mendukung keberadaan musuh alami, petani dapat meningkatkan produktivitas pertanian secara berkelanjutan dan menjaga ekosistem tetap sehat.

4.2 Jenis Musuh Alami

A. Parasitoid

Parasitoid adalah serangga yang meletakkan telurnya di dalam atau pada tubuh inang (hama). Setelah menetas, larva parasitoid memakan jaringan inang dari dalam, yang pada akhirnya menyebabkan kematian inang. Namun fase imago parasitoid hidup bebas dengan sumber pakan berasal dari tumbuhan (Herlinda dan Irsan, 2015). Contoh parasitoid adalah parasitoid larva *Apanteles* sp., Parasitoid telur *Telenomus remus*, dan juga parasitoid telur larva *Chelonus insularis*.

Parasitoid dapat digunakan sebagai pengendali populasi *S. frugiperda*. Berbagai spesies parasitoid dilaporkan memarasit *S. frugiperda* di daerah asalnya. Di Amerika dan Caribbean ditemukan 150 spesies parasitoid dari kelompok Hymenoptera, Diptera, dan Nematoda parasit (Molina-Ochoa *et al.*, 2003). Di negara-negara yang diinvasi oleh *S. frugiperda*, parasitoid lokal juga telah dilaporkan memarasit hama invasif tersebut diantaranya *Cotesia icipi* di Kenya (Sisay *et al.*, 2018), *Chelonus* sp. di Benin, Ghana, dan India (Agboyi *et al.*, 2020; Tapa-Yotto *et al.*, 2021; Gupta *et al.*, 2020).

Di Provinsi Lampung, terdapat beberapa parasitoid yang telah dilaporkan memarasit *S. frugiperda* yaitu *Senometopia illota* (Diptera: Tachinidae), *Drino* sp. (Diptera: Tachinidae), *Chelonus formosanus* (Hymenoptera: Braconidae), dan Genus nr. *Eriborus* sp. (Hymenoptera: Ichneumonidae). Larva *S. frugiperda* yang terparasit menunjukkan penurunan aktivitas makan dan pada permukaan tubuh larva terdapat bintik hitam seperti luka akibat aktivitas peletakan telur parasitoid. Larva *S. frugiperda* mengalami kematian setelah kemunculan imago parasitoid (Gambar 12).

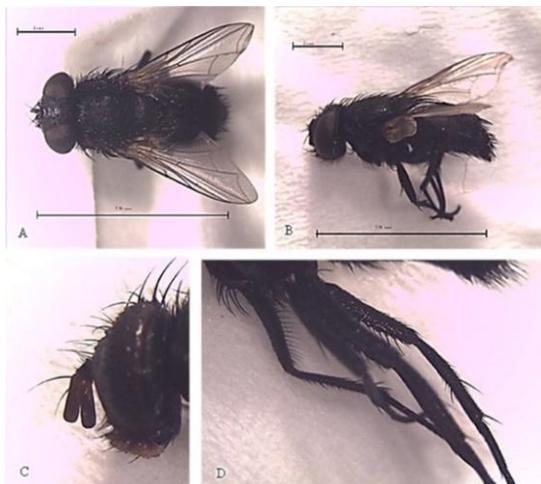


Gambar 12. Larva *S. frugiperda* yang mati terparasit; A. Kemunculan parasitoid dari larva *S. frugiperda*; B. Larva *S. frugiperda* yang mati setelah kemunculan parasitoid; C. Tachinidae (atas) dan Ichneumonidae (bawah) (Lestari et al., 2024).

Senometopia illota (Curran, 1927) (Diptera: Tachinidae)

Senometopia illota memiliki rambut pada hypopleural dengan postscutellum berbentuk silinder. Terdapat seta intraalar di belakang garis toraks, jika hanya terdapat dua seta intraalar, maka seta intraalar yang di depan tidak ada. Arista tidak memiliki rambut atau berambut halus, rambut terpanjang panjangnya sama dengan diameter basal arista.

Venasi sayap m-cu tidak miring, vena m miring sebelum garis tepi sayap. R5 terbuka atau tertutup pada tepi sayap. Pada sisi belakang kepala terdapat rambut-rambut tipis. Pada sisi posterior-alat mulut terdapat rambut-rambut tipis. Gena, Prosetrum, dan permukaan calypter tidak memiliki rambut, namun ada rambut tipis di bagian calypter. Subapical scultellar bristles jauh kebelakang seperti apical. Mata tidak memiliki rambut atau sebagian tidak berambut. Terdapat sedikit rambut di atas vibrissae. Ruas antena ketiga tanpa tip di bagian ujung distal. Ruas kedua arista lebih pendek. Tungkai berwarna hitam atau coklat tua. Rambut prealar lebih panjang dan tebal dibanding notopleural. *S. illota* memiliki ciri morfologi spesifik yaitu rambut prealar lebih kuat dan lebih panjang dibandingkan notopleular. Mata lebat dengan rambut sepanjang 3-4x segi mata (Gambar 13).



Gambar 13. *Senometopia illota* (Diptera: Tachinidae); A. Tampak dorsal; B. Tampak lateral; C. Sekeliling mata ditumbuhi rambut; D. Tungkai berwarna hitam (Lestari et al., 2024).

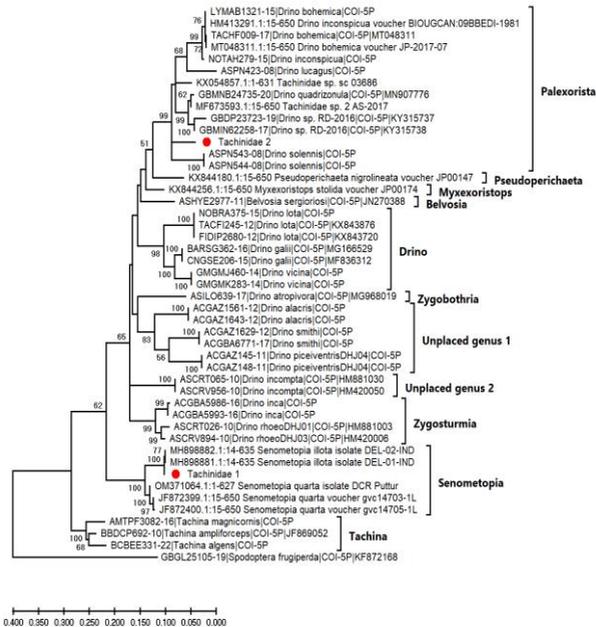
Drino (Palexorista) sp.

Secara morfologi, mata *Drino (Palexorista) sp.* sebagian berambut atau dapat juga tanpa rambut. Femur dan tibia sebagian berwarna hitam, atau seluruh tungkai berwarna hitam. Seta hanya di 1/6-2/5 bagian vertex-occiput. Jika terdapat rambut pada bagian vertex-occiput, rambutnya pendek dan menjuntai. Discal seta pada tergite ketiga dan keempat tidak ada. Ujung palpus atau scutellum berwarna kuning atau kemerahan (Gambar 14).



Gambar 14. *Drino (Palexorista) sp.* (Diptera: Tachinidae); A. Tampak dorsal; B. Tampak lateral; tungkai berwarna hitam; C. Pada sekeliling mata terdapat sedikit rambut.

Analisis filogenetik COI menunjukkan bahwa Tachinidae 1 termasuk dalam kelompok *Senometopia*, dan Tachinidae 2 termasuk dalam kelompok *Palexorista*. Tachinidae 1 mempunyai kemiripan dengan *S. illota*, dan Tachinidae 2 mempunyai kemiripan dengan *Drino sp.* (Gambar 15).



Gambar 15. Dendrogram sampel Tachinidae. Dendrogram dikembangkan berdasarkan analisis sekuens COI menggunakan metode ML (model GTR) dengan nilai bootstrap 1000x. Tachinidae 1 (*S. illota*; Acc. no. OR915667) dan Tachinidae 2 (*Drino* (*Palexorista*) sp; Acc. no OR915670). Beberapa *S. illota* dan *Drino* sp. dari negara lain juga disertakan. *S. frugiperda* (Acc. no. KF872168; BIN ID: AAA4532) digunakan sebagai outgroup (Lestari et al., 2024)

Identifikasi yang lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui spesies parasitoid ini. Dalam penelitian ini *Drino* (*Palexorista*) sp. secara molekuler berbeda dengan Tachinidae yang memarasit *S. frugiperda* di Uganda dan Benin yaitu *Drino* (*Palexorista*) *quadrizonula* dan *Drino* (*Palexorista*) *zonata* juga beberapa spesies lain seperti *Drino* (*Palexorista*) *lucagus*, dan *Drino* (*Palexorista*) *solennis* (Gambar 14; ditandai sebagai Tachinidae 2).

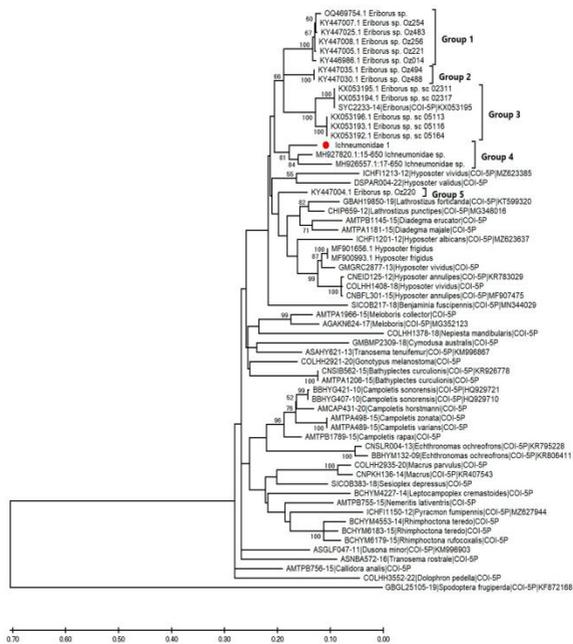
Genus nr. *Eriborus* sp. (Hymenoptera: Ichneumonidae)

Identifikasi parasitoid dari famili Ichneumonidae didasarkan pada warna tubuh dan tungkai serta venasi sayap. Secara morfologi, Genus nr. *Eriborus* sp. memiliki karakteristik yang mirip dengan genus *Eriborus*. Secara umum genus ini memiliki warna tubuh hitam atau merah-kehitaman. Sayap depan memiliki struktur areolat yang terbuka dan vena 3Rs-m tidak ada. Vena M pada sayap depan sepanjang 2RS-m atau lebih pendek. Ovipositor tidak mengarah ke atas. Kepala berwarna hitam, sedangkan antena berwarna coklat tua dan terdiri dari 43 ruas dengan scapus berwarna kekuningan dan bercak hitam pada sisi sampingnya. Frons ditumbuhi rambut, mandibel berwarna coklat dengan ujung gigi berwarna coklat tua. Palpus labium dan maksila berwarna kekuningan, dengan jumlah ruas palpus labium tiga ruas dan palpus maksila empat ruas. Mesosoma berwarna hitam, dan metasoma berwarna hitam kekuningan (Gambar 16).

Secara morfologi Genus nr. *Eriborus* sp. sangat mirip dengan genus *Eriborus*, namun hasil analisis DNA menunjukkan bahwa genus ini tidak dapat dikelompokkan bersama dengan *Eriborus*, sehingga dalam penelitian ini dipisahkan dalam kelompok sendiri yaitu Genus nr. *Eriborus* sp. (Gambar 17). Ada dugaan bahwa *Eriborus* terdiri dari beberapa genera yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini menganggap sekuens kelompok 4 sebagai Ichneumonidae Genus nr. *Eriborus* sp. Parasitoid ini diduga sama dengan yang ditemukan memarasit *S. frugiperda* di Bangladesh (Boldsistem Database; Ratnasingham & Hebert, 2013), dan di Sumatera Barat, serta di Nusa Tenggara Barat.



Gambar 16. Genus nr. *Eriborus* sp.; A. Tampak dorsal; B. Tampak lateral. C. Kepala berwarna hitam (1), dengan scapus dan pedicel coklat (2), Terdapat occipital carina (3); D. lateral scapus bergaris hitam (1), Antena 43 ruas berwarna coklat tua (2); E. Permukaan frons kasar dan berambut (1), Mandibel kekar dan berwarna coklat dengan 2 gigi yang ujungnya berwarna coklat tua (2), Palpus berwarna kekuningan (3); F. tungkai depan kekuningan (1), Tungkai tengah kuning kecuali pada koksa berwarna coklat (2), Koksa tungkai belakang hitam dengan trokanter kuning, femur hingga tarsus kecoklatan (3); G. Mesosoma hitam; H. Metasoma hitam kekuningan, petiole hitam dengan bagian apikal coklat, 2/3 basal tergite kedua hitam dengan ujung coklat kekuningan, tergite ketiga ada tanda coklat; I. Dorsal mesosoma; J. Terdapat Glymma pada petiole; K. Sayap depan; L. Sayap belakang.

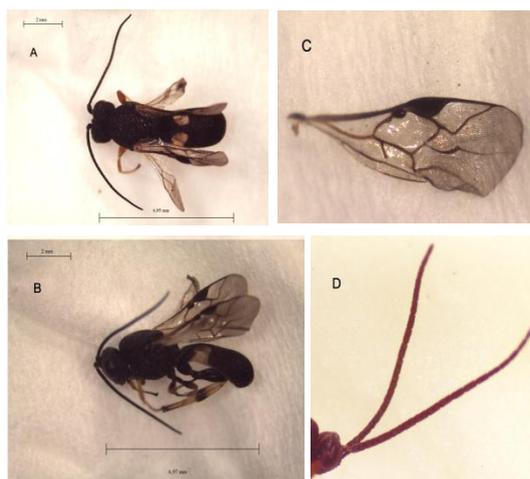


Gambar 17. Pohon filogenik Tribe Limneriini (Campoplegini) berdasarkan mtCOI menggunakan metode ML (model GTR) dengan nilai bootstrap 1000x. Genus nr. *Eriborus* sp. (Acc. no. OR915668) diperoleh dari Provinsi Lampung (ditandai dengan lingkaran merah). Beberapa genus dari Tribe Limneriini juga diikutsertakan. *S. frugiperda* (Acc. no. KF872168; BIN ID: AAA4532) digunakan sebagai outgrup.

***Chelonus formosanus* (Sonan, 1932) (Hymenoptera: Braconidae)**

Imago *C. formosanus* baik jantan maupun betina memiliki warna yang sama. Secara umum parasitoid ini berwarna hitam. Tungkai depan dan tengah berwarna orange kekuningan dengan koxa dan trokanter hitam. Tibia tungkai belakang putih kekuningan. Sayap *C. formosanus*

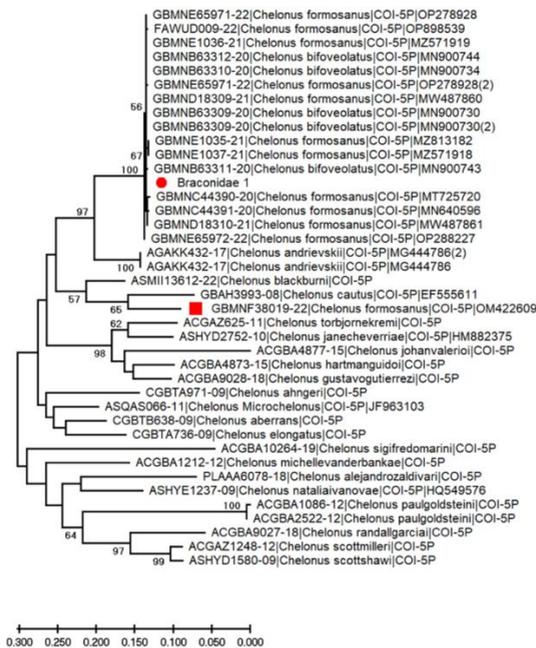
membranus dengan pterostigma dan parastigma coklat tua. Frons dan clypeus compact setose. Vertex padat dan bertekstur. Pada kepala terdapat seta berwarna putih. Antena terdiri dari 24-26 ruas dengan flagellum betina 22-23 ruas dan jantan 25 ruas. Basal flagellum besar dan kokoh dengan apical menggada. Mesosoma nampak seperti berkerut dan kasar. Areolat pada scutellum kasar, propodeum reticulate dengan tuberkel yang kokoh di ujung lateral. Metasoma dengan integument yang cembung dan memiliki sepasang bintik kuning pada bagian lateral. Dengan integument pada metasoma berbentuk cembung (Gambar 18).



Gambar 18. *Chelonus formosanus* (Hymenoptera: Braconidae); A. Tampak dorsal; B. Tampak lateral; C. Sayap depan; D. Antena terdiri dari 24 ruas.

Analisis filogenik pada sekuen mtDNA COI, menunjukkan *C. formosanus* masuk dalam kelompok yang sama dengan *C. bifoveolatus* (Gambar 19). Terdapat bukti

yang jelas yaitu pada sekuen barcode *C. formosanus* identik dengan *C. bifoveolatus* yang memarasit *S. frugiperda* (Shen *et al.*, 2023; Agboyi *et al.*, 2020). Diduga kedua parasitoid tersebut adalah satu spesies. Karakteristik *C. bifoveolatus* yang dijelaskan oleh Shen *et al.* (2023) sebenarnya lebih dekat dengan *C. formosanus* kekerabatannya dibandingkan dengan *C. bifoveolatus* yang dijelaskan oleh Szepliget (1914). Oleh karena itu, dalam penelitian ini parasitoid ini masuk ke dalam *C. formosanus* dan bukan *C. bifoveolatus*.



Gambar 19. Filogenik analisis berdasarkan mtCOI menggunakan metode maximum likelihood dengan 1000x bootstrap. Lingkaran merah adalah sampel yang diamati, *C. formosanus* (Acc. no OR915669) yang diperoleh dari Provinsi Lampung. Beberapa *Chelonus* dari negara lain juga diikutsertakan.

S. illota dan *C. formosanus* merupakan spesies kosmopolitan, sedangkan *Drino (Palexorista)* sp., dan Genus nr. *Eriborus* sp. diduga adalah parasitoid asli di wilayah Asia Tenggara karena struktur genetiknya diketahui berbeda dengan yang telah dilaporkan (Boldsystem Database; Ratnasingham & Hebert, 2013). Parasitoid *S. illota* diketahui menyebar luas di wilayah Afrotropical (Nigeria, Afrika Selatan, Tanzania), Oriental (Cina Timur, India, Laos, Indonesia), Australasian & Oceanian (Australia) (O'hara et al., 2020). *S. illota* secara umum diketahui sebagai parasitoid pada *Helicoverpa armigera* (Chaudhari & Nikam, 1999). *H. armigera* merupakan hama kosmopolit yang juga mapan keberadaannya di Indonesia. Selain itu, *S. illota* juga dilaporkan memarasit *Anthela* sp., *Chrysodeixis argentifera*, *Helicoverpa assulta*, *Thysanoplusia orichalcea* (Cantrell, 1986; Chaudhari & Nikam, 1999).

Drino (Palexorista) sp. tersebar ke beberapa wilayah termasuk Indonesia, Thailand, dan Papua Nugini (Boldsystem Database; Ratnasingham & Hebert, 2013). Parasitoid ini dilaporkan memarasit *S. frugiperda* dan Lepidoptera lain dari famili Noctuidae dan Pyralidae (Caniço et al., 2020). Setidaknya terdapat tujuh spesies *Drino (Palexorista)* yang tercatat di Indonesia seperti *D. curvipalpis* (van der Wulp, 1893) tersebar di wilayah pulau Jawa dan Sulawesi, *D. deducens* (Walker, 1859) tersebar di pulau Jawa dan Sulawesi, *D. immersa* (Walker, 1859) tersebar di Sulawesi, *D. lucagus* (Walker, 1859) tersebar di Kalimantan, *D. painei* (Baranov, 1934) tersebar di Pulau Jawa, *D. solennis* (Walker 1858) tersebar di Pulau Jawa dan

Sumatera, *D. subanajama* (Townsend, 1927) tersebar di Sumatera, dan *D. summaria* (Townsend, 1927) tersebar di Sumatera (O'Hara et al., 2009). Di Afrika, lalat Tachinidae *D. (Palexorista) zonata* dilaporkan sebagai parasitoid pada *S. frugiperda* (Sisay et al., 2018). *D. (Palexoista) quadrizonula* Thomson (Diptera: Tachinidae) juga dilaporkan sebagai parasitoid *S. frugiperda* di Mozambique (Caniço et al., 2020).

Di beberapa negara, parasitoid dari genus *Chelonus* juga dilaporkan memarasit *S. frugiperda*. Dua spesies *Chelonus* dilaporkan memarasit *S. frugiperda* di Benin dan Ghana (Agboyi et al., 2020; Tapa-Yotto et al., 2021), *Chelonus* juga dilaporkan memarasit *S. frugiperda* di India (Gupta et al., 2020). *C. formosanus* tersebar di Indonesia, China, India, Bhutan, America (North America, Texas, United States, dan Travis County), dan Honduras (Liu et al., 2022; Gupta et al., 2020; Dorji et al., 2022). Inang dari parasitoid ini adalah Lepidoptera: Cosmopterigidae, telur-larva Noctuidae (*S. frugiperda*, *S. exigua*, *S. litura*, *H. armigera*, dan *Mythimna loreyi*) (Gupta et al., 2020; Liu et al., 2022; Rai, 1974; Yuan et al., 2022).

Di Indonesia, belum ada laporan spesifik mengenai *C. formosanus*, walaupun parasitasi *C. formosanus* pada Lepidoptera telah dideskripsikan secara luas. *Chelonus* diketahui memarasit beberapa spesies Spodoptera (Jones, 1985). *C. formosanus* yang ditemukan pada penelitian ini secara genetik identik dengan yang ditemukan di India. *Chelonus* merupakan genus terbesar dari famili Cheloninae (Hymenoptera: Braconidae) yang menjadi endoparasitoid telur-larva (Shen et al., 2023). *Chelonus* juga ditemukan di

Amerika dan Afrika (Otim *et al.*, 2021). *C. insularis* memarasit *S. frugiperda* pada tanaman jagung di Afrika selatan dan Afrika Barat dengan persentase parasitasi hingga 91% (Ngangambe & Mwatawala, 2020). *C. formosanus* yang ditemukan di Provinsi Lampung secara genetik identik dengan *C. formosanus* dan *C. bifoventatus*. Namun, secara morfologi menunjukkan kesamaan dengan *C. formosanus* yang dilaporkan di India (Gupta *et al.*, 2020), dengan panjang tubuh berkisar 6,95 sampai 6,97 mm dan antena 24 ruas. Sedangkan betina *C. bifoventatus* memiliki ukuran tubuh lebih kecil yaitu 5,5 mm dengan 27 ruas antena dan terdapat pigmentasi pada tungkai belakang (Szepligeti, 1914). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa *Chelonus* yang ditemukan di Provinsi Lampung adalah *C. formosanus*.

Parasitasi *Eriborus* sp. pada *S. frugiperda* juga dilaporkan di Sumatera Barat (Sari *et al.*, 2023), Nusa Tenggara Barat (Supeno *et al.*, 2021), dan India (Sharanabasappa *et al.*, 2019). Namun belum jelas apakah spesies tersebut merupakan spesies yang sama ataukah spesies yang berbeda dengan yang ditemukan di Provinsi Lampung. Secara morfologi sampel yang ditemukan di Provinsi Lampung memiliki kemiripan dengan genus *Eriborus*, namun secara genetik parasitoid ini terpisah dari genus *Eriborus*, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

4.3 Predator

Predator adalah organisme yang memangsa hama secara langsung. Mereka aktif berburu dan memakan berbagai tahap perkembangan hama, mulai dari telur, larva, hingga dewasa. Contoh predator meliputi kumbang, laba-laba, dan serangga seperti *Orius insidiosus*, *Chrysoperla sp.* dan *Coleomegilla maculate*.

Pengendalian *S. frugiperda* melalui pemanfaatan predator alami telah menjadi fokus penting dalam praktik pertanian berkelanjutan di berbagai negara. Pendekatan ini menawarkan alternatif ramah lingkungan dibandingkan penggunaan insektisida kimia yang dapat merusak ekosistem dan menyebabkan resistensi hama. Predator seperti kumbang tanah (*Carabidae*) dan laba-laba dan serangga predator lokal lainnya seperti semut memainkan peran signifikan dalam menekan populasi *S. frugiperda* di pertanaman jagung di Amerika, India, Argentina, Afrika Barat, Filipina, Uganda, dan Tanzania. Kehadiran predator ini membantu mengurangi kerusakan tanaman dan meningkatkan hasil panen (Meagher *et al.*, 2016; Koffi *et al.*, 2020; Shylesha *et al.*, 2018; Virla *et al.*, 1999).

Selain laba-laba, semut juga banyak dimanfaatkan sebagai predator *S. frugiperda*. Di Brazil, penggunaan semut predator *Solenopsis saevissima* telah diobservasi efektif dalam mengendalikan populasi ulat grayak. Semut ini memangsa larva *S. frugiperda*, sehingga mengurangi kebutuhan akan pestisida kimia (de Araújo *et al.*, 2017).

Pemanfaatan predator lokal seperti kumbang predator dan serangga lainnya juga teridentifikasi memangsa *S. frugiperda* di India (Shylesha *et al.*, 2018).

Introduksi predator *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) juga dilakukan di Tiongkok. Upaya ini dilakukan untuk mengendalikan *S. frugiperda* (Abbas et al., 2019). Praktik pertanian ramah lingkungan juga dilakukan di Mexico dengan memanfaatkan *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae) untuk pengendalian *S. frugiperda* (Molina-Ochoa et al., 2003).

Di Indonesia, penelitian terbaru mengungkap adanya asosiasi antara *S. frugiperda* dan parasitoid lokal, menunjukkan potensi pengendalian hayati yang adaptif (Sartiami et al., 2023). Pendekatan pengendalian hayati dengan predator juga dilakukan di Afrika. Di Nigeria predator lokal, termasuk spesies semut dan serangga lainnya, memiliki potensi sebagai agen pengendali hayati terhadap *S. frugiperda*, menawarkan solusi berkelanjutan bagi petani lokal. Konservasi predator alami efektif dalam mengendalikan *S. frugiperda*, mendukung ketahanan pangan lokal di Mozambik (Ahissow et al., 2021).

Studi konservasi habitat alami di sekitar lahan pertanian dapat meningkatkan populasi predator alami, seperti burung dan serangga, yang membantu mengendalikan *S. frugiperda* (Midega et al., 2018). Pemanfaatan burung sebagai predator alami juga menunjukkan hasil yang positif dalam menekan populasi *S. frugiperda* di Malawi (Murray & Jepson, 2019).

Integrasi tanaman penutup tanah dengan konservasi musuh alami dapat efektif dalam mengendalikan *S. frugiperda*, meningkatkan hasil panen jagung di Nigeria. Diversifikasi tanaman dan konservasi habitat alami di sekitar lahan pertanian dapat meningkatkan populasi

predator alami yang membantu mengendalikan *S. frugiperda* di Zambia (Kennis et al., 2019). Secara keseluruhan, pemanfaatan predator alami dalam pengendalian *S. frugiperda* telah diterapkan di berbagai negara. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada insektisida kimia tetapi juga mendukung praktik pertanian berkelanjutan .

4.4 Jamur Entomopatogen

Ketergantungan dalam penggunaan insektisida mengakibatkan terjadinya perkembangan resistensi hama (Yu et al., 2003). Hama *S. frugiperda* dilaporkan mengalami resistensi terhadap *diamide*, walaupun terbatas pada strain yang terpilih di laboratorium (Okuma et al., 2022). Resistensi *S. frugiperda* terhadap bahan aktif *carbamate*, *pyrethroid*, dan *organophosphate* telah dilaporkan di Florida Utara, Selatan dan Tengah (Yu, 1991). Resistensi silang antara spinosyns juga telah terkonfirmasi pada *S. frugiperda* (Lira et al., 2020). Selain itu, aplikasi insektisida yang berlebihan juga berdampak negatif pada organisme lain yang bukan sasaran (Day et al., 2017; Yu et al., 2003), lingkungan dan juga kesehatan manusia (Akutse et al., 2019).

Salah satu alternatif pengendalian populasi *S. frugiperda* adalah dengan menggunakan jamur entomopatogen. Penggunaan jamur entomopatogen dapat mengurangi ketergantungan terhadap insektisida kimia sintetik, sehingga dapat mengurangi dampak negatif dari aplikasi insektisida. *Metarhizium anisopliae* diketahui dapat mengakibatkan kematian *S. frugiperda* di Kenya (Akutse et

al., 2019). *Cladosporium tenuissimum* SE-10, *Penicillium citrinum* CTD-24, dan *Beauveria bassiana* ZK-5 menunjukkan efek yang signifikan terhadap kematian telur dan juga mampu menurunkan kemampuan makan pada larva instar tiga (Idrees et al., 2021).

Untuk memperoleh isolat entomopatogen yang efektif perlu dilakukan eksplorasi jamur entomopatogen dari ekosistem tanaman jagung. Jamur *Beauveria bassiana* yang diperoleh dari tanaman jagung mengakibatkan mortalitas pada larva *S. frugiperda* sebesar 4,5% (Ismail, et al., 2022). Biopestisida dari jamur *Metarhizium anisopliae* mengakibatkan mortalitas larva *S. frugiperda*. Persentase mortalitas semakin meningkat seiring meningkatnya konsentrasi suspensi spora (Prasetyo, 2022). Jamur entomopatogen memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai agen pengendali hayati *S. frugiperda*. Namun efektivitasnya dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk spesies jamur, konsentrasi spora, dan kondisi lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan penggunaan jamur entomopatogen dalam pengendalian *S. frugiperda* secara efektif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas A, Ullah F, Hafeez M, Han X, Dara MZN, Gul H, & Zhao CR. 2022. Biological Control of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Agronomy*. 12(11): 2704. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112704>.
- Akutse KS, Kimemia JW, Ekesi S, Khamis FM, Ombura OL, & Subramanian S. 2019. Ovicidal effects of entomopathogenic fungal isolates on the invasive Fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *J Appl Entomol*. 143(6): 626–634. <http://doi.org/10.1111/jen.12634>.
- Agboyi LK, Georgen G, Baseh P, Manesah SA, Clottey VA, Glikpo R, Buddi A, Cafà G, Offord L, Day R, Rwomushana I, & Kenis M. 2020 Parasitoid complex of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, in Ghana and Benin. *Insects* 11(2): 68. <https://doi.org/10.3390/insects11020068>.
- Ahissou BR, Sawadogo WM, BokononGanta AH, Somda I, Verheggen F. 2021. Integrated pest management options for the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in West Africa: Challenges and opportunities. A review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*. 25(3): 192-207.

- Andrianto E, Fitriana Y, Suharjo R, Swibawa IG, Susilo, FX, Semenguk B, & Lestari P. 2024. Re-evaluating the likely presence of *Spodoptera frugiperda* in Indonesia in 2015 through re-assessment of neglectic maize field sample collection from Lampung. *Phytoparasitica*. 52:70. <http://doi.org/10.1007/s12600-024-01190-2>.
- de Araújo A, Tamiris, Picanço, Marcelo, Ferreira dO, Dalton, Campos ND, Julia, Arcanjo, Lucas, Silva, & Gerson. 2017. Toxicity and residual effects of insecticides on *Ascia monuste* and predator *Solenopsis saevissima*. *Pest Management Science*. 73. 10.1002/ps.4603.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2024. Pengelolaan hama terpadu ulat grayak (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) pada tanaman jagung. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Balla A, Bhaskar M, Bagade P, & Rawal N. 2019. Yield losses in maize (*Zea mays*) due to fall armyworm infestation and potential IoT-based interventions for its control. *J Entomol Zool Stud*. 7(5): 920-927.
- Baranov N. 1934. Zur kenntnis der parasitären raupenfliegen der Salomonen, Neubritanniens, der Admiralitäts-Inseln, der Fidschi-Inseln und Neukaledoniens, nebst einer bestimmungstabelle der orientalischen Sturmia-Arten. *Veterinarski Arhiv*. 4: 472-485.
- Barfield CS & Ashley TR. 1987. Effects of corn phenology and temperature on the life cycle of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Fla. Entomol*. 70: 110-116.

- Baudron F, Zaman-Allah MA, Chaipa I, Chari N, & Chinwada P. 2019. Understanding the factors influencing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) damage in African smallholder maize fields and quantifying its impact on yield. A case study in Eastern Zimbabwe. *Crop Prot.* 120: 141-150.
- Canção A, Mexia A, & Santos L. 2020. First report of native parasitoids of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in Mozambique. *Insects.* 11(9): 615. <https://doi.org/10.3390/insects11090615>.
- Cantrell BK. 1986. An updated host catalogue for the Australian Tachinidae (Diptera). *J Aust ent soc.* 25: 255-265. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.1986.tb01112.x>
- Capinera JL. 2020. Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae), IFAS Extension. Available online: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/in255> (accessed on 24 November 2022).
- Chaudhari SV & Nikam PK. 1999. Host plant preference of *Senometopia illota* to *Helicoverpa armigera* on pigeonpea and chickpea. *J Biol Cont.* 13: 15-18.
- Day R, Abrahams P, Bateman M, Beale T, Clottey V, Cock M, Colmenarez Y, Corniani N, Early R, Godwin J, Gomez J, Moreno PG, & Murphy ST. 2017. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. *Outlooks Pest Manag.* 28: 196-201. http://doi.org/10.1564/v28_oct_02.

- Dorji U, Khando D, Kinley C, & Jamtsho T. 2022. Preliminary inventory of native natural enemy species of the new pest; the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Bhutan Journal of Natural Resources and Development*. 9(1): 44-53.
- Dumas P, Legeai F, Lemaitre C, Scaon E, Orsucci M, Labadie K, Gimenez S, Clamens AL, Henri H, Vavre F, Aury JM, Fournier P, Kergoat GJ, & d'Alencon E. 2015. *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) host-plant variants: two host strains or two distinct species?. *Genetica* 143, 305-316. <https://doi.org/10.1007/s10709-015-9829-2>.
- Gichuhi J, Subramanian S, Khamis FM, van den Berg J, du Plessis H, Ekesi S, & Herren J. 2020). Diversity of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* and their gut bacterial community in Kenya. *PeerJ*, 8, e8701. <https://doi.org/10.7717/peerj.8701>
- Godfrey GL. 1987. Noctuidae(Noctuidae). Dalam: Stehr FW(ed). *Immature Insects*. Kendal/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa.
- Goergen G, Kumar PL, Sankung SB, Togola A, & Tamò M, 2016. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. *PLoS One*. 11(10): 1-9. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0165632>.
- Groot A, Marr M, Schofl G, Lorenz S, Stavos A, Heckel DG. 2008. Host strain specific sex pheromone variation in *Spodoptera frugiperda*. *Front Zool*. 5:20. <http://doi.org/10.1186/1742-9994-5-20>.

- Groote HD, Kimenju SC, Munyua B, Palmas S, Kassie M, & Bruce A. 2020. Spread and impact of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) in maize production areas of Kenya. *Agr Ecosyst Environ.* 292: 1-10. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106804>.
- Gupta A, Yadavalli L, Varshney R, Shylesha AN, & van-Achterberg C. 2020. *Chelonus formosanus* Sonan (Hymenoptera: Braconidae) an egg-larval parasitoid of the invasive pest *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) amenable to laboratory mass production in India. *J. Entomol. Zool. Stud.* 8(1): 1521-1524.
- Hebert PDN, Cywinska A, Ball SL, & deWaard JR. 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences.* 270(1512): 313-321. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2218>.
- Herlinda S & Irsan C. 2015. *Pengendalian Hayati Hama Tumbuhan*. Unsri Press. Palembang.
- Hruska AJ. 2019. Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) management by smallholders. *CAB Rev.* 14(043): 1-11.
- Idrees A, Qadir ZA, Akutse KS, Afzal A, Hussain M, Islam W, Waqas MS, Bamisile BS, & Li J. 2021. Effectiveness of Entomopathogenic Fungi on Immature Stages and Feeding Performance of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Larvae. *Insects.* 12(11):1044. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12111044>.

- IITA. 2016. First report of outbreaks of the “Fall Armyworm” on the African continent. IITA Bulletin. No 2330. <http://bulletin.iita.org/index.php/2016/18First-report-of-outbreaks-of-the-fall-armyworm-on-the-african-continent/>.
- Insecticide Resistance Action Committee (IRAC). 2018. *Integrated Pest Management (IPM) & Insect Resistance Management (IRM) for Fall Armyworm in South African Maize*. IRAC. South Africa. 21 p.
- IPPC. 2018. First detection of Fall Armyworm on the border of Thailand. IPPC Official Pest Report, No THA-03/1. FAO: Rome, Italy. <http://www/ippc.int/>.
- IPPC. 2019. First Detection Report of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on Maize in Myanmar. IPPC Official Pest Report, No. MMR-19/2. Rome, Italy. <http://www/ippc.int/>.
- Ismail E, Lihawa M, Husain I, & Iswati R. 2022. Uji Efektivitas Jamur Entomopatogen *Beauveria bassiana* untuk Mengendalikan *Spodoptera frugiperda* pada Tanaman Jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Agroteknotropika*. 11(2): 12-17.
- Jones D. 1985. Endocrine interaction between host (Lepidoptera) and parasite (Cheloninae, Hymenoptera): Is the host or the parasite in control? *Ann Entomol Soc Am*. 78(2): 141-148. <https://doi.org/10.1093/aesa/78.2.141>.
- Kenis M, DuPlessis H, VandenBerg J, Ba MN, Goergen G, Kwadjo KE, Baoua I, Tefera T, Buddie A, Cafà G. 2019. *Telenomus remus*, a Candidate Parasitoid for the

Biological Control of *Spodoptera frugiperda* in Africa, is already Present on the continent. *Insects*. 10: 92.

- Koffi D, Kyerematen R, Eziah VY, Agboka K, Adom M, & Meagher RL. 2020. Natural enemies of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in Ghana. *Fla Entomol*. 103 (1): 85–90. <https://doi.org/10.1653/024.103.0414>.
- Kumela T, Simiyu J, Sisay B, Likhayo P, Mendesil E, Gohole L, & Tefera T. 2018. Farmers' knowledge, perceptions, and management practices of the new invasive pest, fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Ethiopia and Kenya. *Intl J Pest Manag.* 64: 1-9. <http://doi.org/10.1080/09670874.2017.1423129>.
- Lestari DI. 2022. Uji Efektivitas Biopestisida Formulasi Cair Jamur Entomopatogen *Metarhizium anisopliae* terhadap Ulat Grayak Jagung (*Spodoptera frugiperda* J.E Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). [Skripsi]. Universitas Jember.
- Lestari P, Fitriana Y, Suharjo R, Swibawa IG, Utomo SD, & Andrianto E. 2024. New parasitoids of *Spodoptera frugiperda* in Lampung Province, Indonesia. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*. 17(4): 631-643. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2024.02.005>.
- Lestari P, Budiarti A, Fitriana Y, Susilo FX, Swibawa IG, Sudarsono H, Suharjo R, Hariri AM, Purnomo, Nuryasin, Solikhin, Wibowo L, Jumari, & Hartaman M. 2020. Identification and genetic diversity of *Spodoptera frugiperda* in Lampung Province, Indonesia. *Biodiversitas*. 21(4): 1670-1677.

- Lima MS, Silva PSL, Oliveira OF, Silva KMB, & Freitas FCL. 2009. Corn yield responds to weed and fall armyworm controls. *Plant Daninha*. 28(1): 103-111.
- Lira EC, Bolzan A, Nascimento ARB, Amaral FSA, Kanno RH, Kaiser IS, & Omoto C. 2020. Resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to spinetoram: inheritance and cross-resistance to spinosad. *Pest Manag Sci*. 76: 2674–2680.
- Liu JF, Zhao HY, Song YF, Yu YC, & Yang MF. 2022. A chromosome-level genome assembly of the parasitic wasp *Chelonus formosanus* Sonan 1932 (Hymenoptera: Braconidae). *Genome Biol Evol*. 14(1): <http://doi.org/10.1093/gbe/evac006>.
- Luginbill P. 1928. The Fall Army Worm. Technical Bulletin. No. 3. United States Department of Agriculture, Washington DC.
- Maharani Y, Dewi VK, Puspasari LT, Rizkie L, Hidayat Y, & Dono D. 2019. Cases of Fall Army Worm *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) Attack on Maize in Bandung, Garut and Sumedang District, West Java. *Jurnal Cropsaver*. 2(1): 38-46.
- Meagher RL, Nuessly G, Nagoshi RN, Hay-Roe MM. 2016. Parasitoids attacking fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in sweet corn habitats. *Biological Control*. 95: 66–72.
- Midega CAO, Pittchar JO, Pickett JA, Hailu GW, Khan ZR. 2018. A climate-adapted push-pull system effectively controls fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J E Smith), in maize in East Africa. *Crop Protection*. 105: 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.11.003>.

- Molina-Ochoa J, Carpenter JE, Heinrichs EA, & Foster JE. 2003. Parasitoids and parasites of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas and Caribbean Basin: an inventory. *Fla Entomol.* 86(3): 254-289.
- Montezano DG, Specht A, Sosa-Gomez DR, Roque-Specht VF, SousaSilva JC, Paula-Moraes, Peterson JA, & Hunt TE. 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *Afr Entomol.* 26(2): 286-300. <http://doi.org/10.4001/003.026.0286>.
- Murray K & Jepson PC. 2019. *Fall Armyworm Management by Maize Smallholders in Malawi: An Integrated Pest Management Strategic Plan*. Integrated Plant Protection Center. Oregon State University. https://agrilinks.org/sites/default/files/faw_malawi_ipm_strategy_072019_snglpg.pdf
- Nagoshi RN & Meagher RL. 2022. The *Spodoptera frugiperda* Host Strains: What They Are and Why They Matter for Understanding and Controlling This Global Agricultural Pest. *J Econ Entomol.* 115(6):1729-1743. <http://doi.org/10.1093/jee/toac050>. PMID: 36515110.
- Nagoshi RN, Muru'a MG, Hay-Roe M, Juárez ML, Willink E, & Meagher RL. 2012. Genetic characterization of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) host strains in Argentina. *J. Econ. Entomol.* 105: 418-428.
- Navik O, Shylesha AN, Patil J, Venkatesan T, Lalitha Y, & Ashika TR. 2021. Damage, distribution and natural enemies of invasive fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. smith) under rainfed maize in

- Karnataka, India. *Crop Protection*. 143: 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105536>.
- Ngangambe MH & Mwatawala MW. 2020. Effects of entomopathogenic fungi (EPFs) and cropping systems on parasitoids of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) on maize in eastern central, Tanzania. *Biocon Sci Technol*. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1726878>.
- Nonci N, Kalqutny SH, Mirsam H, Muis A, Azrai M, & Aqli M. 2019. *Pengenalan Fall Army Worm (Spodoptera frugiperda J.E.Smith) Hama Baru pada Tanaman Jagung di Indonesia*. Balai Penelitian Serealia. Maros.
- O'Hara JE, Shima H, & Zhang C. 2009. Annotated catalogue of the Tachinidae (Insecta: Diptera) of China. *Zootaxa*. 2190(1): 1-236. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2190.1.1>.
- O'Hara JE, Henderson SJ, & Wood DM. 2020. Preliminary checklist of the Tachinidae (Diptera) of the world. Canadian National Collection of Insects, Agriculture and Agri-Food Canada 960 Carling Avenue, Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0C6.
- Okuma DM, Cuenca A, Nauen R, & Omoto C. 2022. Large-Scale Monitoring of the Frequency of Ryanodine Receptor Target-Site Mutations Conferring Diamide Resistance in Brazilian Field Populations of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insects*. 13(7): 1-17. <https://doi.org/10.3390/insects13070626>.

- Otim MH, Adumo SA, Opio M, Kanyesigye D, Opolot NH, & Tay WT. 2021. Parasitoid Distribution and Parasitism of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Different Maize Producing Regions of Uganda. *Insects*. 12(2): 121. <https://doi.org/10.3390/insects12020121>
- Overton K, Maino JL, Day R, Umina PA, Bett B, Carnovale D, Ekesi S, Meagher R, & Reynolds OL. 2021. Global crop impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A review. *Crop Protection*. 45(105641): 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105641>
- Pashley DP. 1988. Quantitative genetics, development, and physiological adaptation in host strains of fall armyworm. *Evolution: International Journal of Organic Evolution*. 42: 93-102.
- Pitre HN, Mulrooney JE, & Hogg DDB. 1983. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) oviposition: crop preferences and egg distribution on plants. *J Econ Entomol*. 76: 463-466.
- Prasanna BM, Huesing JE, Eddy R, & Peschke VM. 2018. Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management, 1st ed. CIMMYT. Mexico City. Mexico.
- Rahayu DA & Jannah M. 2019. *DNA Barcode Hewan dan Tumbuhan Indonesia*. Yayasan Inspirasi Ide Berdaya. Jakarta.
- Rai PS. 1974. Record of *Chelonus formosanus* Sonan (Hymenoptera: Braconidae), a parasite of *Spodoptera litura* (Fabricius) from Mysore State. *Current Science*. 43(1): 30 ref. 2.

- Ratnasingham S & Hebert PDN. 2013. A DNA-based registry for all animal species: The barcode index number (BIN) system. *PLoS ONE*. 8(8): e66213. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0066213>.
- Ribeiro LP, Dequech STB, Camera C, Sturza VS, Poncio S, & Vendramim JD. 2014. Vertical and temporal distribution of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) egg masses, parasitized and non-parasitized, on maize plants. *Maydica*. 59: 315–320.
- Rwomushana I, Bateman M, Beale T, Beseh P, Cameron K, Chiluba M, Clottey V, Davis T, Day R, Early R, Godwin J, Gonzalez-Moreno P, Kansiime M, Kenis M, Makale F, Mugambi I, Murphy S, Nunda W, Phiri N, Pratt C, & Tambo J. 2018. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. Evidence NoteUpdate. CAB International. Dapat diakses di <https://www.invasive-species.org/wp-content/uploads/sites/2/2019/02/FAW-Evidence-Note-October-2018.pdf>.
- Santos LM, Redaelli LR, Diefenbach LMG, & Efrom CFS. 2003. Larval and pupal stage of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in sweet and field corn genotypes. *Braz J Biol*. 63(4): 627–633.
- Sari SP, Nelly N, Hindrayani, & Yaherwandi. 2023. Natural enemies of *Spodoptera frugiperda* J.E Smith (Lepidoptera: Noctuidae) on corn plants in West Sumatera. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci*. 1160: 012045 <http://doi.org/10.1088/1755-1315/1160/1/012045>.
- Sartiami D, Dadang, Harahap IS, Kusumah YM, & Anwar R. 2020. First record of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Indonesia and its occurrence in three

provinces. IOP Conf. Series: Earth Environ Sci. 468: 012021. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/468/1/012021>.

- Sharanabasappa, Kalleshwaraswamy CM, Asokan R, Mahadeva Swamy HM, Maruthi MS, Pavithra HB, Hedge K, Navi S, Prabhu ST, & Goergen G. 2018. First report of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) an alien invasive pest on maize in India. *Pest Management in Horticultural Ecosystem*. 24(1): 23-29.
- Shen Z, Zang ZY, Dai P, Xu W, Nkunica POY, & Zang LS. 2023. Identification of *Chelonus* sp. from Zambia and Its Performance on Different Aged Eggs of *Spodoptera frugiperda*. *Insects*. 14(1): 61. <https://doi.org/10.3390/insects14010061>
- Shylesha AN, Jajali SK, Gupta A, Varshney R, Venkatesan T, Shetty P, Ojha R, Prabhu C, Ganiger C, Navik O, Subarahan K, Bakthavatsalam N, Ballal CR. 2018. Studies on new invasive pest *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and its natural enemies. *J. biol. Con*. 32:1-7.
- Sisay B, Simiyu J, Malusi P, Likhayo P, Mendesil E, Elibariki N, Wakgari M, Ayalew G, & Tefera T. 2018. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), natural enemies from Africa. *J Appl Entomol*. 142: 800-804.
- Song XP, Liang YJ, Zhang XQ, Qin ZQ, Wei JJ, Li YR, & Wu JM. 2020. Intrusion of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in sugarcane and its control by drone in

- China. *Sugar Tech.* 22:734-737.
<http://doi.org/10.1007/s12355-020-00799-x>
- Srikanth J, Nandagopal G, Balasubramanian S, Ramasubramanian T, Mahesh P, Saravanan L, Salin KP, Chitra N, & Muthukumar M. 2018. First report of occurrence of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in sugarcane from Tamil Nadu, India. *Journal of Sugarcane Research.* 8(2): 195-202.
- Supeno B, Tarmizi, Haryanto H, & Ernowati NML. 2021 Parasitoid of fall armyworm larvae, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on maize at Lombok Island. *Proc ICST con.* 2: 460-466.
- Szepligeti G. 1914. Afrikanische Braconiden des Konigl. Zoologischen Museums in Berlin. *Mitteilungen aus dem Zoologischen Museum in Berlin.* 7:153-230.
- Tang M, Tan M, Meng G, Yang S, Xu Su, Liu S, Song W, Li Y, Wu Q, Zhang A, Zhou X. 2014. Multiplex sequencing of pooled mitochondrial genomes—a crucial step toward biodiversity analysis using mito-metagenomics. *Nucleic Acids Research.* 42(22): e166, <https://doi.org/10.1093/nar/gku917>.
- Tepa-Yotto GT, Tonnang HEZ, Goergen G, Subramanian S, Kimathi E, Abdel-Rahman EM, Flø D, Thunes KH, Fiaboe KKM, Niassy S, Bruce A, Mohamed SA, Tamò M, Ekesi S, & Sæthre MG. 2021. Global habitat suitability of *Spodoptera frugiperda* (JE. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae): Key parasitoids considered for its biological control. *Insects.* 12: 273. <https://doi.org/10.3390/insects12040273>.

- Townsend CHT. 1927. Fauna sumatrensis. (Beitrag Nr. 50).
Diptera Muscoidea III. *Supplementa Entomologica*. (16):
56–76.
- Trisyono YA, Suputa, Aryuwandari VEB, Hartaman M, &
Jumari. 2019. Occurrence of Heavy Infestation by the
Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*, a New Alien
Invasive Pest, in Corn in Lampung Indonesia. *Jurnal
Perlindungan Tanaman Indonesia*. 23(1): 156–160.
- van der Wulp FM. 1893. Eenige Javaansche Tachininen.
Tijdschrift voor Entomologie 36: 159–188.
<https://doi.org/10.15468/39omei>.
- Virla EG, Colomo MV, Berta C, & Valverde YL. 1999. El
complejo de los parasitoides del “gusano cogollero” del
maíz, *Spodoptera frugiperda*, en la República Argentina
(Insecta: Lepidoptera). *Neotrópica*. 45: 3–12.
- Walker F. 1859. Catalogue of the dipterous insects collected
at Makessar in Celebes, by Mr. A.R. Wallace, with
descriptions of new species. [Cont.] *Journal of the
Proceedings of the Linnean Society of London. Zoology*. 4
(1860): 97–144. [https://doi.org/10.1111/j.1096-
3642.1859.tb00187.x](https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1859.tb00187.x).
- Wang R, Chunxian J, Xiang G, Dongdong C. 2020. Potential
distribution of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) in
China and the major factors influencing distribution.
Global Ecology and Conservation. 21:e00865.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00865>.
- Yee KN, Aye MM, Htain NN, Oo AK, Kyi PP, Thein MM, &
Saing NN. 2019. First Detection Report of the Fall
Armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera:
Noctuidae) on Maize in Myanmar.

https://www.ippc.int/static/media/files/pestreport/2019/01/11/Detection__report_of_FAW_in_Myanmar.pdf.

- Yu SJ. 1991. Insecticida Resistance in the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Pestic Biochem Physiol.* 39: 84-91
- Yu SJ, Nguyen SN, & Abo-Elghar GE. 2003. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Pestic Biochem Physiol.* 77: 1-11. [http://doi.org/10.1016/S0048-3575\(03\)00079-8](http://doi.org/10.1016/S0048-3575(03)00079-8).
- Yuan RZ, Zhou JJ, Shu XH, Ye XQ, Tang P, & Chen XX. 2022. The mitochondrial genome of *Chelonus formosanus* (Hymenoptera: Braconidae) with novel gene orders and phylogenetic implications. *Arch Insect Biochem Physiol.* 111: e21870. <https://doi.org/10.1002/arch.21870>.