



Pengaruh komposisi lanskap pertanian terhadap kelimpahan, tingkat serangan, dan parasitisme *Spodoptera frugiperda* (Smith)

Effect of agricultural landscape composition on abundance, attack rate, and parasitism of *Spodoptera frugiperda* (Smith)

Mihwan Sataral^{1*}, Muhammad Iqbal Tawakkal¹, I Wayan Winasa¹,
Hermanu Triwidodo¹, Akhmad Rizali², Damayanti Buchori^{1,3}

¹Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University
Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

²Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya
Jalan Veteran, Malang 65145, Indonesia

³Center for Transdisciplinary and Sustainability Science (CTSS), IPB University
Kampus Baranangsiang, Bogor 16127, Indonesia

(diterima Desember 2023, direvisi Juli 2024, disetujui Agustus 2024)

ABSTRAK

Pengelolaan lanskap dalam suatu agroekosistem merupakan bagian dari pendekatan ekologi yang bertujuan untuk melestarikan kontrol biologis untuk menekan kelimpahan hama dan kerusakan tanaman. Penelitian ini menyelidiki bagaimana komposisi lanskap pertanian mempengaruhi kelimpahan dan tingkat serangan *Spodoptera frugiperda* serta kelimpahan dan tingkat parasitisme parasitoidnya. Penelitian ini menilai karakteristik lanskap di ladang jagung di sekitar Bogor, termasuk kelas area (CA) dan jumlah petak (NP) habitat pertanian dan semi-alami. *Buffering* dengan radius 300 meter digunakan untuk mengevaluasi fitur-fitur ini. Telur dan larva *S. frugiperda* yang dikoleksi dan dipelihara di laboratorium diamati perkembangannya baik terparasit maupun tidak. Pengaruh komposisi lanskap terhadap kelimpahan, tingkat serangan, dan parasitisme *S. frugiperda* dianalisis menggunakan *generalized linear models*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi lanskap memengaruhi kelimpahan dan tingkat serangan *S. frugiperda*, namun tidak berpengaruh terhadap kelimpahan dan tingkat parasitisme parasitoid. Peningkatan CA pertanian dapat meningkatkan kelimpahan larva *S. frugiperda*. Selain itu, peningkatan NP dan CA habitat semi-alami dapat menurunkan tingkat serangan *S. frugiperda*. Elevasi lahan pertanian jagung juga menunjukkan pengaruh negatif terhadap kelimpahan parasitoid dan parasitisme larva, sedangkan umur tanaman jagung berpengaruh positif terhadap kelimpahan dan serangan *S. frugiperda*. Temuan ini menyoroti pentingnya komposisi lanskap, terutama keberadaan habitat semi-alami, dalam pengelolaan hama secara efektif. Pendekatan ekologi ini memberikan wawasan yang berharga untuk strategi pengendalian hama berkelanjutan dalam praktik pertanian.

Kata kunci: agens pengendali hayati, penekanan hama, skala lanskap, ulat grayak

ABSTRACT

Landscape management in an agroecosystem is part of an ecological approach aimed at conserving biological control to suppress the abundance of pests and crop damage. This study investigates how agricultural landscape composition influences the abundance and attack rates of

*Penulis korespondensi: Mihwan Sataral. Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University
Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia, sataralmihwan@apps.ipb.ac.id

Spodoptera frugiperda and its parasitoids' abundance and parasitism rates. The research assessed landscape characteristics in maize fields around Bogor, including class area (CA) and the number of patches (NP) of agricultural and semi-natural habitats. A 300-meter radius buffer was used to evaluate these features. Eggs and larvae of *S. frugiperda* were collected and reared in the laboratory to observe their parasitized and non-parasitized development. The influence of landscape composition on the abundance, attack rate, and parasitism of *S. frugiperda* was analyzed using generalized linear models. The results indicate that landscape composition affects the abundance and attack rate of *S. frugiperda* and influences the abundance and parasitism rate of parasitoids. Increasing the agricultural class area can increase the abundance of *S. frugiperda* larvae. In addition, increasing the NP and CA of semi-natural habitats can reduce the infestation rate of *S. frugiperda*. The elevation of maize areas also shows an influence on the abundance of parasitoids and the parasitism of larvae. In contrast, the age of the maize affects the abundance and attack of *S. frugiperda*. These findings highlight the importance of landscape composition, particularly the presence of semi-natural habitats, in managing pest populations effectively. This ecological approach offers valuable insights for sustainable pest control strategies in agricultural practices.

Key words: biological control agent, fall armyworm, landscape scale, pest suppression

PENDAHULUAN

Spodoptera frugiperda (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) merupakan spesies hama invasif baru di Indonesia, dilaporkan pertama kali pada tahun 2019 di daerah Pasaman Barat, Sumatera Barat (Nonci et al. 2019), kemudian ditahun yang sama juga ditemukan di daerah Lampung (Trisyono et al. 2019), Sumatera Barat, Banten, dan Jawa Barat (Sartiami et al. 2020). Saat ini, *S. frugiperda* telah menyebar ke berbagai wilayah di Indonesia, yakni Sumatera Selatan (Herlinda et al. 2021), Yogyakarta (Nurkomar et al. 2021); Jawa Timur (Rizali et al. 2021; Afandhi et al. 2022), Lombok (Supeno et al. 2021), Bali (Supartha et al. 2021), Nusa Tenggara Timur (Mukkun et al. 2021), dan Sulawesi (Vebryanti et al. 2023). Hama ini mampu hidup dengan baik pada tanaman jagung dan mampu beradaptasi di habitat barunya sehingga dapat mengancam keberhasilan hasil tanaman jagung (Hutasoit et al. 2020). Selain tanaman jagung, larva *S. frugiperda* juga menyerang beberapa tanaman pangan lainnya, yakni padi, ubi kayu, ubi jalar, dan kacang tanah (Herlinda et al. 2022) di Indonesia. Larva *S. frugiperda* menyerang tanaman jagung dengan rata-rata 1,26–3 individu/tanaman dan persentase rata-rata serangan 60,12–87,05% (Kalqutny et al. 2021).

Pengendalian *S. frugiperda* di Indonesia umumnya menggunakan insektisida sintetis (Susanto et al. 2021). Namun, pengendalian kimiawi dilaporkan tidak efektif karena insektisida yang digunakan tidak cocok untuk *S. frugiperda* (Mukkun et al. 2021). Selain itu, penggunaan

insektisida sintetis yang berlebihan dapat memicu resistensi *S. frugiperda* dengan cepat (Zhang et al. 2021). Rizali et al. (2021) melaporkan bahwa peningkatan aplikasi pestisida dapat meningkatkan intensitas serangan *S. frugiperda* pada tanaman jagung. Oleh karena itu, perlu dikembangkan strategi pengelolaan yang lebih berkelanjutan untuk mengendalikan hama ini salah satunya, yakni pengelolaan lanskap.

Intensifikasi pertanian dapat mengubah komposisi dan struktur lanskap (Zhao et al. 2015; Aune et al. 2018; Ulina et al. 2019) sehingga berdampak pada perubahan proses ekologi (Landis 2017) yang mengatur pengendalian populasi hama (Brévault & Clouvel 2019). Manfaat dari komposisi lanskap yang beragam dapat mengurangi kepadatan hama dan tingkat kerusakan yang ditimbulkan sehingga meningkatkan hasil panen (Bianchi et al. 2006). Namun, diversifikasi lanskap juga tidak selalu menjamin untuk mengurangi hama atau meningkatkan hasil tanaman (Poveda et al. 2008). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan keheterogenan lanskap secara positif memengaruhi penekanan hama (Gardiner et al. 2009; Perez-Alvarez et al. 2019), namun pengaruh keheterogenan lanskap terhadap layanan pengendalian hama tidak selalu mengarah pada pengendalian populasi hama yang efektif dalam agroekosistem (Chaplin-Kramer et al. 2011).

Komposisi lanskap memainkan peran kunci dalam menentukan penyebaran serangga hama dan musuh alami di lanskap pertanian (Veres et al. 2013). Komposisi lanskap dengan tingkat heterogenitas yang tinggi telah diketahui dapat

meningkatkan populasi musuh alami, yang akhirnya membantu menekan populasi hama (Zhang et al. 2020). Namun, pengaruh dari komposisi lanskap terhadap musuh alami dan penekanan hama terkadang tidak konsisten (Karp et al. 2018). Sebuah studi menjelaskan pengaruh komposisi lanskap memengaruhi taksa tertentu dari musuh alami dan efek konfigurasi lebih besar daripada efek komposisi (Martin et al. 2016). Hasil studi Perez-Alvarez et al. (2018) menjelaskan bahwa hama Lepidoptera pada pertanaman kubis kurang melimpah di lanskap dengan *class area* habitat semi-alami yang tinggi, namun berbeda untuk hama kutu daun yang cenderung meningkat ketika *class area* habitat semi-alami meningkat. Hasil ini menggambarkan bagaimana spesies hama yang berbeda dalam sistem pertanian yang sama memiliki respons berbeda terhadap komposisi lanskap. Dalam beberapa kasus, kedekatan lahan pertanian dengan habitat semi-alami juga dapat menghambat penekanan hama, ketika musuh alami beradaptasi dengan kondisi lahan pertanian yang luas (Aristizábal & Metzger 2019).

Secara khusus, melestarikan dan memulihkan habitat semi-alami muncul sebagai langkah pertama yang mendasar untuk memelihara dan meningkatkan layanan pengendalian hama (Rusch et al. 2016; Alignier et al. 2014; Jordon et al. 2022), termasuk pengendalian hama *S. frugiperda* (Harrison et al. 2019). Namun, terkadang hama eksotik termasuk *S. frugiperda* mendapatkan manfaat yang lebih besar dari habitat semi-alami, yaitu makanan alternatif, tempat berlindung, dan tempat bersarang daripada penekanan hama yang ditimbulkan oleh peningkatan komunitas musuh alami (Tscharrntke et al. 2016). Beberapa penelitian mengenai *S. frugiperda* sebelumnya mengkaji distribusi dan kerusakan pada tanaman jagung tanpa melihat efek dari lanskap (Trisyono et al. 2019; Hutasoit et al. 2020; Supartha et al. 2021; Nelly et al. 2021; Kalqutny et al. 2021; Nurkomar et al. 2021). Studi mengenai hubungan komposisi lanskap dengan kelimpahan populasi dan penekanan *S. frugiperda* di Indonesia masih jarang dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh komposisi lanskap pertanian terhadap kelimpahan dan tingkat serangan hama *S. frugiperda* pada waktu yang berbeda serta kelimpahan parasitoid dan tingkat parasitisasinya pada pertanaman jagung.

BAHAN DAN METODE

Lokasi penelitian

Pengambilan sampel *S. frugiperda* dilakukan pada bulan Juli–September 2020 dan April–Juni 2022 di lahan tanaman jagung yang berada di Bogor, yakni Kemang, Cijeruk, Tamansari, Leuwisadeng, Pamijahan, Tenjolaya, Situgede, Ciherang, Petir, Dramaga, Cibereum, Sukawening, Sukajaya, Sukaesmi, Ciaruteun Udik, Laladon, Ciomas, Cihideung Ilir, dan Cibening (Gambar 1). Lokasi studi memiliki variasi dalam hal elevasi (153–604 m dpl), dengan komposisi lanskap yang bervariasi. Luas lahan jagung yang dipilih menjadi lokasi studi memiliki luas minimum 0,25 ha.

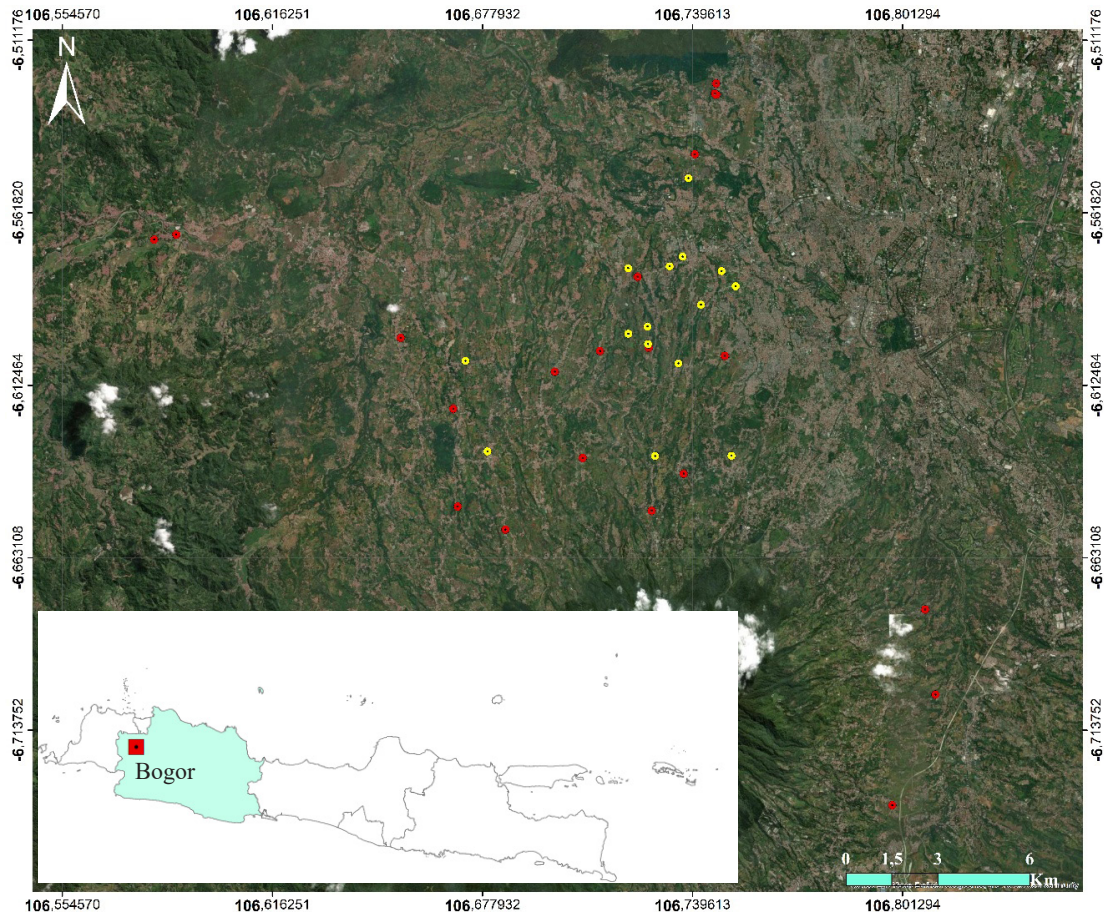
Koleksi dan pengamatan tingkat serangan *S. frugiperda*

Pengambilan sampel *S. frugiperda* pada tahun 2020 dilakukan pada lahan pertanaman jagung berumur 3 dan 4 minggu setelah tanam (MST), dan pada tahun 2022, yakni 2–6 MST dengan cara pengambilan langsung (*hand-collecting*). Sampel *S. frugiperda* yang dikoleksi, yakni pada stadium telur dan larva, dan dihitung jumlah individunya. Pengamatan persentase tingkat serangan *S. frugiperda* dilakukan dengan mengamati 200 tanaman pada masing-masing lahan, dengan luas plot pengamatan $\pm 500 \text{ m}^2$. Persentase tingkat serangan dihitung berdasarkan jumlah tanaman yang diserang terhadap jumlah tanaman yang diamati merujuk pada Sisay et al. (2019) dengan rumus:

$$\text{Tingkat serangan} = \frac{\text{Jumlah tanaman terserang}}{\text{Jumlah tanaman diamati}} \times 100\%$$

Pemeliharaan inang dan identifikasi parasitoid

Hama *S. frugiperda* yang dikoleksi dari lapangan pada tahun 2020, untuk stadia telur dipindahkan dalam tabung gelas, sedangkan untuk larva dipindahkan dalam *cup* plastik untuk dilakukan pemeliharaan. Larva yang dipelihara diberi pakan jagung muda setiap hari. Pengamatan dilakukan setiap hari untuk mengamati parasitoid yang keluar dari telur dan larva. Parasitoid yang keluar kemudian dimasukkan ke dalam *tube* 1,5 ml yang berisi alkohol 70%, kemudian diberi label sesuai label hama yang dikoleksi di lapangan. Parasitoid yang keluar dari hama yang dipelihara dihitung jumlah individunya. Tahun 2022 tidak



Gambar 1. Sebaran lokasi sampling *Spodoptera frugiperda* di lahan pertanaman jagung daerah Bogor. Titik warna merah merupakan titik pengamatan pada tahun 2020, sedangkan titik warna kuning merupakan lokasi pengamatan tahun 2022. Kode lokasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Figure 1. Distribution of *Spodoptera frugiperda* sampling locations in Bogor maize fields. Red points are observation in 2020, while yellow points are observation in 2022. The location code can be seen in Table 1.

dilakukan koleksi dan pemeliharaan sampel telur *S. frugiperda*. Proses identifikasi parasitoid berdasarkan karakter morfologi, merujuk pada referensi CSIRO (1991), Goulet & Huber (1993), Whitfield (1997); Santos et al. (2019) dan Fernandez-Triana et al. (2020). Tingkat parasitisasi dihitung berdasarkan fase inang parasitoid. Tingkat parasitisasi dihitung merujuk pada Keerthi et al. (2023) dengan rumus:

$$\% \text{ Tingkat parasitisasi} = \frac{\text{Jumlah inang terparasit}}{\text{Jumlah inang diamati}} \times 100\%$$

Penentuan dan karakterisasi lanskap

Penentuan komposisi lanskap menggunakan data citra satelit Sentinel-2 yang telah melalui proses koreksi *radiometric* dan *geometric* sehingga menjadi tipe *surface reflectance*. Citra Sentinel-2 didownload menggunakan platform komputasi awan *Google Earth Engine/GEE* dengan bahasa pemrograman *JavaScript*. Rentang waktu akuisisi

citra disesuaikan dengan waktu koleksi sampel, yakni bulan Juli–September 2020 dan April–Juni 2022. Citra Sentinel-2 yang dipilih merupakan citra dengan nilai digital number median dan memiliki tingkat keawanan <20%. *Area of interest* (AOI) yang dipakai berbentuk *rectangle* dengan cakupan wilayah Kabupaten Bogor dan sekitarnya. Band yang dipakai sebagai input klasifikasi adalah kombinasi band asli antara lain band- 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8A, 11 dan 12 (Qiu et al. 2017; Ali et al. 2022) (Lampiran 1).

Klasifikasi penggunaan lahan dibagi tujuh kelas, yaitu lahan terbangun, badan air, pepohonan, sawah, pertanian lahan kering, semak, dan lahan kosong. Sebanyak 1.181 sampel *training* dan 293 sampel validasi dibuat untuk klasifikasi penggunaan lahan pada periode bulan Juli–September 2020, menggunakan algoritma *machine learning*, yakni *random forest* (Breiman 2001; Gislason et al. 2006), dengan nilai *overall*

accuracy 92% dan koefisien kappa 0,87. Periode April–Juni 2022 dibuat sampel *training* sebanyak 1.328 dan 336 sampel validasi, dengan nilai *overall accuracy* 94% dan koefisien kappa 0,91. Hasil klasifikasi dari platform GEE dalam format GeoTIFF selanjutnya diinput ke *software* Arcgis 10.5 untuk menganalisis komposisi lanskap dengan melakukan *buffering* pada area di dalam radius 300 m dari titik tengah petakan jagung (Bouzar-Essaidi et al. 2021). Parameter lanskap yang digunakan adalah *class area* (CA), yakni total luas habitat dalam lanskap (ha) dan jumlah *patch/fragmen* (NP) dari lahan pertanian (meliputi sawah dan pertanian lahan kering) dan habitat semi-alami (meliputi semak dan pepohonan).

Pengukuran elevasi setiap lahan

Pengukuran elevasi masing-masing lokasi sampling dilakukan dengan menggunakan aplikasi GPS status yang tersedia pada ponsel pintar android. Untuk mengurangi tingkat kesalahan, data elevasi dicatat pada saat akurasi kurang dari 4 meter.

Analisis data

Untuk mengetahui pengaruh komposisi lanskap, elevasi, dan umur tanaman jagung terhadap kelimpahan dan persentase tingkat serangan *S. frugiperda* serta kelimpahan parasitoid dan tingkat parasitisasi dianalisis menggunakan *generalized linear models* (GLM) dan menggunakan *quasipoisson* untuk menghindari overdispersi. Jumlah *patch* lahan pertanian (NP pertanian), jumlah *patch* semi-alami (NP semi-alami), *class area* lahan pertanian (CA pertanian) dan *class area* semi-alami (CA semi-alami), elevasi, dan umur tanaman jagung sebagai prediktor. Data dianalisis menggunakan fungsi *glm* pada *software* R statistic versi 4.3.0 (R Core Team 2024).

HASIL

Komposisi lanskap pertanian dalam radius 300 m dari lahan jagung di Bogor

Komposisi lanskap pertanian yang mengelilingi lahan tanaman jagung dalam radius 300 m di 21 lokasi di Bogor pada tahun 2020 didominasi oleh habitat semi-alami (37,63%) dengan luas area (*class area*/CA semi-alami) berkisar 4,34 ha/

(15%, di Tenjolaya A) sampai 20,50 ha (73%, di Pamijahan B) (Tabel 1; Gambar 2). Sementara luas area lahan pertanian (CA pertanian) berkisar 1,67 ha (6%, di Tamansari B) sampai 20,17 ha (71%, di Tenjolaya A). Berbeda dengan 15 lokasi pada tahun 2022 yang didominasi oleh CA pertanian (34,28%) dengan luas berkisar 2,02 ha (7%, di Dramaga D) sampai 14,78 ha (52%, di Sukaresmi). Sementara CA semi-alami berkisar 0,60 ha (2%, di Ciomas) sampai 18,10 ha (64%, di Petir B) (Tabel 1).

Pengaruh komposisi lanskap terhadap kelimpahan larva, tingkat serangan, kelimpahan parasitoid dan parasitisme *S. frugiperda* pada pertanaman jagung di Bogor

Berdasarkan hasil penelitian tahun 2020 diperoleh kelimpahan larva *S. frugiperda* bervariasi pada setiap lokasi per luas lahan pengamatan. Beberapa lokasi yang memiliki kelimpahan larva tinggi (di atas 140 individu), yakni Pamijahan C, Cijeruk C, Tenjolaya B, Cijeruk B, dan Cijeruk A. Tingkat serangan *S. frugiperda* tinggi (di atas 50%) ditemukan di lokasi Cijeruk A, Cijeruk B, dan Cijeruk C.

Penelitian di tahun 2020 juga menemukan parasitoid yang memarasit *S. frugiperda* yang terdiri atas tiga parasitoid telur (*Telenomus dignoides* Nixon, *T. remus* Nixon, dan *Trichogramma chilostraeae* Nigaraja & Nagarkatti) dan empat parasitoid larva (*Apanteles* sp., *Charops* sp., *Euplectrus* sp., dan *Microplitis* sp.). Parasitoid telur hanya ditemukan pada tujuh lokasi dengan jumlah individu berkisar 52 sampai 284 individu dan tingkat parasitisasi berkisar 23,09% sampai 96,30%. Sementara parasitoid larva ditemukan pada lima belas lokasi dengan jumlah individu dan tingkat parasitisasi berkisar 1 individu (0,65%) sampai 189 individu (137,96%) (Tabel 2).

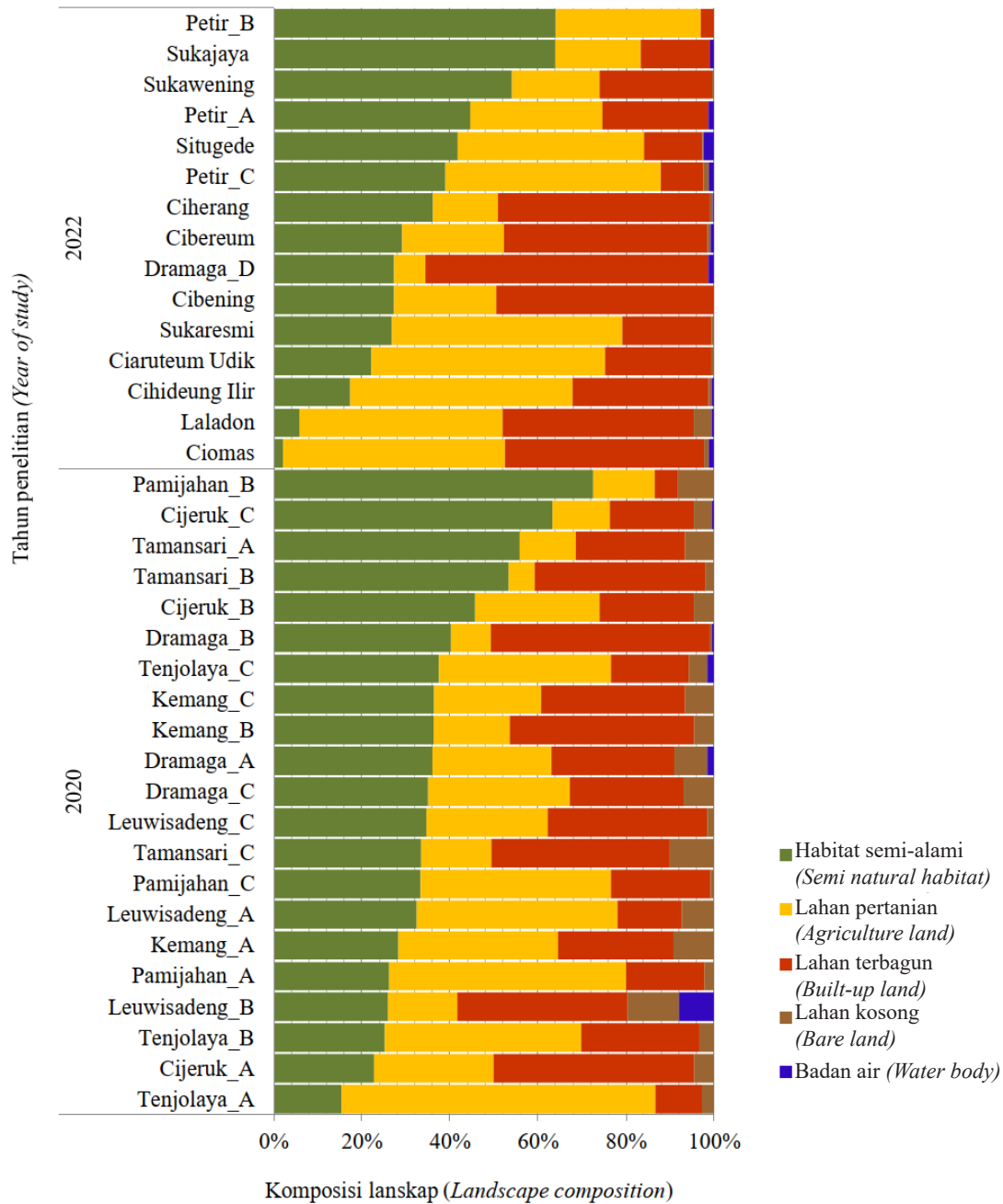
Hasil analisis GLM menunjukkan bahwa komposisi lanskap memengaruhi kelimpahan dan tingkat serangan larva *S. frugiperda*, khususnya CA dan NP Pertanian serta NP semi-alami. Peningkatan CA pertanian menyebabkan peningkatan kelimpahan larva ($P = 0,024$), sedangkan peningkatan NP pertanian dapat menurunkan kelimpahan larva ($P = 0,080$). Peningkatan NP semi-alami menurunkan tingkat serangan ($P = 0,078$) (Tabel 3). Selain itu, umur

Tabel 1. Komposisi lanskap di lokasi studi, *class area* habitat semi-alami (CA semi-alami), *class area* pertanian (CA pertanian), jumlah *patch* habitat semi-alami (NP semi-alami) dan jumlah *patch* pertanian (NP pertanian)**Table 1.** Landscape composition of the study site, *class area* of semi-natural (CA semi-natural), *class area* of agricultural (CA agricultural), patches number of semi-natural (NP semi-natural, and patches number of agricultural (NP agricultural)

Lokasi (Location)	Kode Lokasi (Location code)	Tahun (Year)	Elevasi (m dpl) (Elevation)	Habitat semi-alami (Semi-natural habitat)		Pertanian (Agricultural)	
				CA (ha)	NP	CA (ha)	NP
Kemang_A	KM_A	2020	153	8,02	20	10,23	34
Kemang_B	KM_B	2020	158	10,26	20	4,91	14
Kemang_C	KM_C	2020	157	10,31	22	6,87	23
Cijeruk_A	CJ_A	2020	541	6,43	15	7,68	18
Cijeruk_B	CJ_B	2020	481	12,92	21	8,00	27
Cijeruk_C	CJ_C	2020	449	17,91	34	3,68	21
Tamansari_A	TS_A	2020	582	15,78	24	3,60	16
Tamansari_B	TS_B	2020	466	15,10	15	1,67	9
Tamansari_C	TS_C	2020	254	9,46	24	4,53	14
Dramaga_A	DR_A	2020	223	10,21	17	7,61	26
Dramaga_B	DR_B	2020	189	11,37	10	2,58	9
Dramaga_C	DR_C	2020	257	9,91	23	9,11	21
Leuwisadeng_A	LW_A	2020	227	9,17	18	12,91	10
Leuwisadeng_B	LW_B	2020	211	7,34	43	4,46	24
Leuwisadeng_C	LW_C	2020	286	9,80	19	7,78	28
Pamijahan_A	PMJ_A	2020	604	7,40	12	15,24	37
Pamijahan_B	PMJ_B	2020	504	20,50	20	3,95	14
Pamijahan_C	PMJ_C	2020	352	9,41	23	12,25	34
Tenjolaya_A	TJ_A	2020	317	4,34	19	20,17	31
Tenjolaya_B	TJ_B	2020	458	7,12	20	12,62	42
Tenjolaya_C	TJ_C	2020	281	10,61	28	11,04	33
Situgede	SG	2022	194	11,82	19	11,96	25
Ciherang	CH	2022	210	10,21	24	4,17	20
Petir_A	PR_A	2022	283	12,63	6	8,48	21
Petir_B	PR_B	2022	264	18,10	4	9,30	24
Petir_C	PR_C	2022	235	11,02	9	13,83	15
Dramaga_D	DR_D	2022	208	7,73	14	2,02	10
Cibereum	CBR	2022	198	8,24	13	6,53	13
Sukawening	SKW	2022	258	15,30	14	5,62	13
Sukajaya	SKJ	2022	475	18,07	7	5,50	13
Sukaesmi	SKR	2022	428	7,59	15	14,78	25
Ciaruteum udik	CU	2022	300	6,25	25	14,13	18
Laladon	LL	2022	198	1,63	11	13,07	31
Ciomas	CM	2022	202	0,60	5	14,26	27
Cihideung Ilir	CI	2022	198	4,92	12	14,26	22
Cibening	CBN	2022	417	7,71	26	6,56	21

Huruf A, B, C dan D setelah nama lokasi menunjukkan lokasi sampling yang berbeda.

The letters A, B, C, and D after the location name indicate different sampling locations.



Gambar 2. Komposisi lanskap pada setiap lokasi penelitian.
Figure 2. Landscape composition at the study site.

jagung juga memengaruhi kelimpahan dan tingkat serangan *S. frugiperda*. Bertambahnya umur jagung secara signifikan meningkatkan kelimpahan dan tingkat serangan ($P = 0,080$).

Hasil analisis GLM juga menunjukkan bahwa komposisi lanskap tidak memengaruhi kelimpahan (Tabel 4) dan tingkat parasitisasi (Tabel 5) parasitoid telur dan larva. Walaupun demikian, perbedaan umur tanaman jagung ternyata memengaruhi kelimpahan parasitoid larva ($P = 0,047$) dan tingkat parasitisasi larva ($P = 0,055$).

Pengaruh komposisi lanskap terhadap kelimpahan dan tingkat serangan *S. frugiperda* di lahan pertanian jagung pada tahun berbeda

Hasil perbandingan penelitian antara tahun 2020 dan 2022 diperoleh bahwa kelimpahan dan tingkat serangan *S. frugiperda* menunjukkan perbedaan. Berdasarkan analisis GLM menunjukkan bahwa kelimpahan larva *S. frugiperda* pada tahun 2020 dipengaruhi oleh komposisi lanskap, sedangkan pada tahun 2022 komposisi lanskap tidak memengaruhi kelimpahan

Tabel 2. Kelimpahan dan tingkat serangan *Spodoptera frugiperda*, kelimpahan parasitoid, parasitisasi, elevasi, umur tanaman jagung dan tahun koleksi di lokasi studi**Table 2.** Abundance and infestation of *Spodoptera frugiperda*, parasitoid abundance, parasitism, altitude, age of maize and collection year at the study site

Lokasi (Location)	Jumlah larva (Number of larval)	Tingkat serangan (Infestation) (%)	Jumlah parasitoid telur (Number of egg parasitoids)	Jumlah parasitoid larva (Number of larval parasitoid)	Parasitisasi telur (Parasitization of egg) (%)	Parasitisasi larva (Parasitization of larval) (%)	Elevasi (Altitude) (m dpl)	Umur jagung (Maize age) (mst)	Tahun koleksi (Year of collection)
Kemang_A	37	35,80	0	0	0,00	0,00	153	4	2020
Kemang_B	111	35,80	0	5	0,00	4,50	158	4	2020
Kemang_C	116	35,80	284	13	76,55	11,21	157	4	2020
Cijeruk_A	145	59,50	0	3	0,00	2,07	541	3	2020
Cijeruk_B	155	59,50	52	1	96,30	0,65	481	3	2020
Cijeruk_C	189	59,50	58	5	95,08	2,65	449	3	2020
Tamansari_A	72	40,00	0	0	0,00	0,00	582	4	2020
Tamansari_B	102	40,00	0	4	0,00	3,92	466	4	2020
Tamansari_C	79	40,00	0	0	0,00	0,00	254	4	2020
Dramaga_A	79	24,70	0	15	0,00	18,99	223	4	2020
Dramaga_B	77	24,70	0	1	0,00	1,30	189	4	2020
Dramaga_C	61	24,70	138	11	93,88	18,03	257	4	2020
Leuwisadeng_A	67	37,50	0	0	0,00	0,00	227	4	2020
Leuwisadeng_B	97	37,50	147	0	36,75	0,00	211	4	2020
Leuwisadeng_C	76	37,50	76	3	90,48	3,95	286	4	2020
Pamijahan_A	54	41,10	0	1	0,00	1,85	604	3	2020
Pamijahan_B	122	41,10	0	9	0,00	7,38	504	3	2020
Pamijahan_C	191	41,10	9	2	3,05	1,05	352	3	2020
Tenjolaya_A	7	43,30	0	0	0,00	0,00	317	3	2020
Tenjolaya_B	166	43,30	0	8	0,00	4,82	458	3	2020
Tenjolaya_C	137	43,30	106	189	23,09	137,96	281	3	2020
Situgede	18	35,00	-	-	-	-	194	3	2022
Ciherang	79	63,75	-	-	-	-	210	4	2022
Petir_A	66	46,25	-	-	-	-	283	3	2022
Petir_B	60	33,75	-	-	-	-	264	4	2022
Petir_C	57	60,00	-	-	-	-	235	4	2022
Dramaga_D	59	57,50	-	-	-	-	208	3	2022
Cibereum	47	73,75	-	-	-	-	198	4	2022
Sukawening	31	48,75	-	-	-	-	258	4	2022
Sukajaya	21	17,50	-	-	-	-	475	6	2022
Sukaresmi	13	11,25	-	-	-	-	428	5	2022
Ciaruteum Udik	82	80,00	-	-	-	-	300	2	2022
Laladon	68	77,50	-	-	-	-	198	5	2022
Ciomas	63	67,50	-	-	-	-	202	5	2022
Cihideung Ilir	88	71,25	-	-	-	-	198	3	2022
Cibening	23	26,25	-	-	-	-	417	6	2022

Huruf A, B, C dan D setelah nama lokasi menunjukkan lokasi sampling yang berbeda.

The letters A, B, C, and D after the location name indicate different sampling locations.

Tabel 3. Analisis *generalized linear model* hubungan antara komposisi lanskap dengan kelimpahan dan tingkat serangan larva *Spodoptera frugiperda* berdasarkan data tahun 2020. Taraf signifikan : *P < 0,1; *P < 0,05; **P < 0,01

Table 3. *Generalized linear model analysis of the relationship between landscape composition and abundance and attack rates of Spodoptera frugiperda in collection 2020. Significance level: *P < 0.1, *P < 0.05; **P < 0.01*

Variabel (Variable)	Kelimpahan (<i>abundance</i>)				Tingkat serangan (<i>attack rate</i>)			
	Estimate	SE	P	R ²	Estimate	SE	P	R ²
(Intercept)	-3,70e ⁻⁰²	0,018	0,059	0,71	-2,60e ⁻⁰³	0,016	0,868	0,72
CA semi-alami (<i>CA semi-natural</i>)	3,60e ⁻⁰⁴	0,000	0,168		4,30e ⁻⁰⁴	0,000	0,125	
NP semi-alami (<i>NP semi-natural</i>)	9,70e ⁻⁰⁵	0,000	0,455		-2,70e ⁻⁰⁴	0,000	0,078*	
CA pertanian (<i>CA agricultural</i>)	1,50e ⁻⁰³	0,001	0,024*		2,20e ⁻⁰⁴	0,000	0,558	
NP pertanian (<i>NP agricultural</i>)	-3,20e ⁻⁰⁴	0,000	0,080*		1,70e ⁻⁰⁴	0,000	0,270	
Umur jagung (<i>Maize age</i>)	9,70e ⁻⁰³	0,003	0,009**		8,20e ⁻⁰³	0,003	0,010*	
Elevasi (<i>Elevation</i>)	1,00e ⁻⁰⁵	0,000	0,281		-1,60e ⁻⁰⁵	0,000	0,105	

Tabel 4. Analisis *generalized linear model* hubungan antara komposisi lanskap dengan kelimpahan parasitoid telur dan larva *Spodoptera frugiperda* berdasarkan data tahun 2020. Taraf signifikan: *P < 0,05

Table 4. *Generalized linear model analysis of the relationship between landscape composition and parasitoid abundance of Spodoptera frugiperda in collection 2020. Significance level: *P < 0.05*

Variabel (Variable)	Parasitoid telur (<i>Egg parasitoids</i>)				Parasitoid larva (<i>Larvae parasitoids</i>)			
	Estimate	SE	P	R ²	Estimate	SE	P	R ²
(Intercept)	-17,078	16,528	0,320	0,78	26,075	23,440	0,286	0,93
CA semi-alami (<i>CA semi-natural</i>)	0,005	0,003	0,103		-0,007	0,020	0,728	
NP semi-alami (<i>NP semi-natural</i>)	0,219	0,306	0,486		-0,257	0,566	0,657	
CA pertanian (<i>CA agricultural</i>)	0,435	0,367	0,257		0,164	0,450	0,722	
NP pertanian (<i>NP agricultural</i>)	0,073	0,091	0,436		-0,027	0,127	0,833	
Umur jagung (<i>Maize age</i>)	-0,003	0,006	0,592		-0,020	0,009	0,047*	
Elevasi (<i>Elevation</i>)	0,077	0,089	0,401		0,115	0,140	0,426	

larva (Tabel 6). Selain itu, umur jagung juga mempengaruhi kelimpahan larva *S. frugiperda* baik pada tahun 2020 dan 2022.

Hasil analisis GLM juga menunjukkan bahwa tingkat serangan *S. frugiperda* pada tahun 2020 dan 2022 juga dipengaruhi oleh komposisi lanskap khususnya CA dan NP semi-alami. Di tahun

2020, NP semi-alami berkorelasi negatif terhadap tingkat serangan *S. frugiperda*, sedangkan tahun 2022 CA semi-alami berkorelasi negatif terhadap tingkat serangan (Tabel 7). Selain itu, pada tahun 2020, umur jagung memengaruhi tingkat serangan *S. frugiperda*, sedangkan tahun 2022 elevasi lebih memengaruhi tingkat serangan.

Tabel 5. Analisis *generalized linear model* hubungan antara komposisi lanskap dengan tingkat parasitisasi telur dan larva *Spodoptera frugiperda* berdasarkan data tahun 2020. Taraf signifikan: * $P < 0,01$

Table 5. *Generalized linear model analysis of the relationship relationship between landscape composition and parasitization rates of S. frugiperda eggs and larvae in collection 2020. Significance level: * $P < 0.01$*

Variabel (Variable)	Parasitisasi telur (<i>Egg parasitization</i>)				Parasitisasi larva (<i>Larvae parasitization</i>)			
	Estimate	SE	P	R ²	Estimate	SE	P	R ²
(Intercept)	-7,528	12,701	0,564	0,22	15,552	20,141	0,454	0,83
CA semi-alami (<i>CA semi-natural</i>)	0,000	0,003	0,948		-0,004	0,016	0,806	
NP semi-alami (<i>NP semi-natural</i>)	0,050	0,297	0,868		-0,055	0,454	0,905	
CA pertanian (<i>CA agricultural</i>)	0,289	0,265	0,295		0,270	0,390	0,500	
NP pertanian (<i>NP agricultural</i>)	0,065	0,077	0,411		-0,003	0,109	0,977	
Umur jagung (<i>Maize age</i>)	-0,002	0,005	0,636		-0,017	0,008	0,055*	
Elevasi (<i>Elevation</i>)	0,091	0,093	0,349		0,088	0,105	0,415	

Tabel 6. Analisis *generalized linear model* hubungan antara komposisi lanskap dengan kelimpahan larva *Spodotera frugiperda* berdasarkan data tahun 2020 dan 2022. Taraf signifikan : * $P < 0,10$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$

Table 6. *Generalized linear model analysis of the relationship between landscape composition and abundance of Spodoptera frugiperda in collection 2020 and 2022. Significance level: * $P < 0.10$; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$*

Variabel	Koleksi tahun 2020 (2020 Collection)				Koleksi tahun 2022 (2022 Collection)			
	Estimate	SE	P	R ²	Estimate	SE	P	R ²
(Intercept)	-3,70e ⁻⁰²	0,018	0,059	0,71	5,876	0,726	0,000	0,42
CA semi-alami (<i>CA semi-natural</i>)	3,60e ⁻⁰⁴	0,000	0,168		-0,031	0,027	0,246	
NP semi-alami (<i>NP semi-natural</i>)	9,70e ⁻⁰⁵	0,000	0,455		-0,015	0,017	0,353	
CA pertanian (<i>CA agricultural</i>)	1,50e ⁻⁰³	0,001	0,024*		-0,025	0,036	0,485	
NP pertanian (<i>NP agricultural</i>)	-3,20e ⁻⁰⁴	0,000	0,080*		0,011	0,024	0,654	
Umur jagung (<i>Maize age</i>)	9,70e ⁻⁰³	0,003	0,009**		-0,233	0,130	0,073*	
Elevasi (<i>Elevation</i>)	1,00e ⁻⁰⁵	0,000	0,281		-0,002	0,002	0,244	

PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komposisi lanskap memengaruhi kelimpahan larva dan tingkat serangan *S. frugiperda*, namun tidak

untuk kelimpahan parasitoid larva, kelimpahan parasitoid telur, tingkat parasitisasi larva dan telur *S. frugiperda*. Komposisi lanskap khususnya CA pertanian memiliki efek signifikan terhadap kelimpahan larva *S. frugiperda*, namun tidak

Tabel 7. Analisis generalized linear model hubungan antara komposisi lanskap dengan tingkat serangan larva *Spodoptera frugiperda* berdasarkan data tahun 2020 dan 2022. Taraf signifikan : * $P < 0,10$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$

Table 7. Generalized linear model analysis of the relationship between landscape composition and attack rates of *Spodoptera frugiperda* in collection 2020 and 2022. Significance level: * $P < 0.10$; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

Variabel	Koleksi tahun 2020 (2020 Collection)				Koleksi tahun 2022 (2022 Collection)			
	Estimate	SE	P	R ²	Estimate	SE	P	R ²
(Intercept)	-2,60e ⁻⁰³	0,016	0,868	0,72	5,756	0,440	0,000	0,64
CA semi-alami (CA semi-natural)	4,30e ⁻⁰⁴	0,000	0,125		-0,036	0,016	0,026*	
NP semi-alami (NP semi-natural)	-2,70e ⁻⁰⁴	0,000	0,078*		0,004	0,010	0,721	
CA pertanian (CA agricultural)	2,20e ⁻⁰⁴	0,000	0,558		0,009	0,022	0,687	
NP pertanian (NP agricultural)	1,70e ⁻⁰⁴	0,000	0,270		-0,021	0,015	0,140	
Umur jagung (Maize age)	8,20e ⁻⁰³	0,003	0,010*		-0,058	0,080	0,466	
Elevasi (Elevation)	-1,60e ⁻⁰⁵	0,000	0,105		-0,004	0,001	0,000**	

untuk tingkat serangan, kelimpahan parasitoid telur dan larva, serta tingkat parasitisasi telur dan larva *S. frugiperda*. Peningkatan CA pertanian berdampak terhadap peningkatan populasi larva *S. frugiperda*. Hasil ini berbeda dengan studi Syahidah et al. (2021) yang menjelaskan bahwa CA pertanian tidak memiliki efek signifikan terhadap kelimpahan hama Lepidoptera. Hubungan antara kelimpahan hama dan luas lahan tanaman terkadang kurang konsisten (Rosenheim et al. 2022). Kennedy & Huseh (2022) menjelaskan bahwa spesies hama tertentu dapat merespons secara positif atau negatif atau netral terhadap luas lahan pertanian. Diketahui bahwa *S. frugiperda* memiliki tanaman inang yang cukup luas, yakni jagung, padi, selada, kubis, bayam, mentimun, singkong, kacang tunggak, kacang tanah, alpukat, stroberi, kangkung, ubi jalar, dan terong (Herlinda et al. 2022), tomat dan cabai (Wu et al. 2021). Tanaman ini umumnya dibudidayakan di sekitar lahan jagung lokasi penelitian. Hama ini juga diketahui memiliki kemampuan terbang yang cukup tinggi untuk migrasi dalam suatu lanskap pertanian (Westbrook et al. 2015; Maruthadurai & Ramesh 2019; Zhou et al. 2020; Chen et al. 2022).

Jumlah *patch* lahan pertanian (NP pertanian) memiliki pengaruh signifikan terhadap kelimpahan larva, namun tidak untuk tingkat serangan,

kelimpahan parasitoid, dan tingkat parasitisasi *S. frugiperda*. Peningkatan NP pertanian dapat menurunkan kelimpahan *S. frugiperda*. Hasil ini berbeda dengan studi Ulina et al. (2019) yang melaporkan bahwa NP pertanian memiliki efek signifikan terhadap hama, dimana peningkatan jumlah *patch* tanaman meningkatkan populasi hama. Selain itu, hasil studi Syahidah et al. (2021) menunjukkan bahwa jumlah *patch* tanaman tidak memiliki efek signifikan terhadap kelimpahan hama. Umumnya kondisi di sekitar lahan jagung di lokasi penelitian juga ditanami beberapa jenis tanaman, seperti mentimun, singkong, ubi jalar, tomat dan cabai. Kondisi ini memungkinkan *S. frugiperda* terdistribusi di habitat inangnya sekitar lahan jagung. Walaupun secara umum diketahui bahwa lahan tanaman merupakan habitat hama, namun efeknya bisa netral atau negatif terhadap kelimpahan hama dan musuh alami (Veres et al. 2013) sehingga keberadaan hama dan musuh alami di lahan pertanian dapat dipengaruhi oleh habitat non-tanaman di sekitar lahan (Bianchi et al. 2006; Tschardtke et al. 2007).

Jumlah *patch* habitat semi-alami (NP semi-alami) memengaruhi tingkat serangan, namun tidak untuk kelimpahan larva, kelimpahan parasitoid, dan tingkat parasitisasi. Hasil ini berbeda seperti yang dilaporkan Syahidah et al. (2020) bahwa

wilayah yang memiliki banyak jumlah *patch* habitat alami, memiliki kelimpahan parasitoid yang tinggi. Hal ini menandakan bahwa jumlah *patch* semi-alami tidak selalu memiliki efek positif terhadap pengendalian hama. Walaupun diketahui bahwa *patch* semi-alami menyediakan sumberdaya dan tempat berlindung bagi musuh alami (Tscharntke et al. 2016; McHugh et al. 2020), namun habitat semi-alami juga dapat mendukung keberadaan hama (Veres et al. 2013; Laterza et al. 2023). Beberapa spesies parasitoid terkadang tidak memiliki efek terhadap perubahan kualitas habitat termasuk keberadaan habitat semi-alami (González et al. 2022). Selain efek netral, habitat semi-alami memiliki efek negatif ketika habitat alami merupakan sumber hama yang lebih besar dibandingkan dengan musuh alami sehingga perannya dalam pengendalian hayati kurang efektif (Tscharntke et al. 2016). Hasil ini dapat menjadi rekomendasi dilakukannya studi lebih lanjut terkait komposisi tumbuhan penyusun *patch* semi-alami tersebut. Selain itu, habitat semi-alami mungkin saja memiliki populasi parasitoid yang cukup tinggi, namun mereka tidak menyebar ke lahan pertanian (Blitzer et al. 2012). Hal ini mereka lakukan untuk menghindari serangan dari predator (Tscharntke et al. 2008).

Umur tanaman jagung berpengaruh signifikan terhadap kelimpahan dan tingkat serangan *S. frugiperda*. Umumnya larva *S. frugiperda* cenderung melimpah pada tanaman jagung berumur 2–4 minggu. Supartha et al. (2021) melaporkan populasi imago dan telur *S. frugiperda* ditemukan mencapai puncaknya pada saat tanaman jagung berumur 2 minggu setelah tanam (MST), sedangkan populasi larva mencapai puncaknya pada saat tanaman berusia 4 minggu. Imago umumnya bertelur pada tanaman jagung berumur ± 1 minggu (Trisyono et al. 2019).

Spesies-spesies parasitoid yang ditemukan memarasit telur dan larva *S. frugiperda* pada penelitian ini, sebelumnya juga telah dilaporkan Nurkomar et al. (2024). Hasil analisis GLM menunjukkan bahwa kelimpahan spesies parasitoid dan tingkat parasitasinya tidak dipengaruhi oleh komposisi lanskap. Hasil studi Syahidah et al. (2020) juga menemukan bahwa luas area habitat alami tidak memengaruhi keanekaragaman parasitoid. Hasil ini berbeda dengan beberapa

studi lain yang menjelaskan bahwa keberadaan habitat semi-alami di lanskap pertanian dapat mendorong peningkatan populasi musuh alami (Woltz et al. 2012; Woltz & Landis 2014; Tabuchi et al. 2014; Sarthou et al. 2014; Álvarez et al. 2019; Jordon et al. 2022). Studi ini menjelaskan bahwa tidak selamanya luas tutupan habitat semi-alami berpengaruh positif dalam peningkatan populasi parasitoid. Plečáš et al. (2014) menjelaskan bahwa ketersediaan spesies inang alternatif, tempat berlindung dan sumber makanan tambahan berkontribusi pada efek positif dari habitat semi-alami terhadap parasitoid. Selain itu, Tscharntke et al. (2016) menyatakan bahwa untuk meningkatkan pengendalian hama secara efektif, habitat alami atau semi-alami tidak hanya ditinjau berdasarkan jumlah dan luas tutupannya, tetapi juga jaraknya dengan lahan pertanian. Hasil ini menyoroti bahwa *patch* semi-alami di sekitar lahan tidak selalu berfungsi sebagai sumber parasitoid yang nantinya dapat bermigrasi ke ladang. Oleh karena itu, perlu kajian mendalam mengenai pengaruh komposisi lanskap dengan skala kecil ataupun skala yang lebih luas atau dengan periode waktu yang cukup lama.

Jika dibandingkan antara pengamatan tahun 2020 dan 2022, menunjukkan bahwa pengamatan tahun 2022, komposisi lanskap tidak berpengaruh terhadap kelimpahan *S. frugiperda*. Namun, komposisi lanskap khususnya habitat semi-alami secara konsisten menunjukkan pengaruh baik pada penelitian tahun 2020 maupun tahun 2022, meskipun pada tahun 2020 lebih dipengaruhi oleh NP semi-alami, sedangkan pada tahun 2022 oleh CA semi-alami. Dalam studi ini, keberadaan habitat semi-alami di sekitar ladang jagung dapat menurunkan tingkat serangan *S. frugiperda*. Hasil yang sama juga dilaporkan Jordon et al. (2022) bahwa keberadaan habitat semi-alami di sekitar ladang jagung dapat mengurangi kerusakan tanaman jagung akibat serangan *S. frugiperda*. Rizali et al. (2022) menjelaskan bahwa proporsi habitat alami di lanskap pertanian berkontribusi dalam mengurangi intensitas serangan hama dengan menjaga kelimpahan musuh alami. Oleh karena itu, upaya mempertahankan keanekaragaman parasitoid untuk pengelolaan pengendalian hayati perlu diperhatikan dengan cara melestarikan habitat semi-alami (Rizali et

al. 2019). Studi ini menambahkan bukti bahwa pemahaman komprehensif tentang komposisi lanskap sangat penting untuk strategi pengendalian hama di lapangan.

Umur tanaman juga menunjukkan pengaruh signifikan terhadap kelimpahan larva *S. frugiperda* baik pada penelitian tahun 2020 maupun tahun 2022. Temuan Clemente-Orta et al. (2020) menjelaskan bahwa pertumbuhan jagung merupakan faktor penting yang memengaruhi kelimpahan hama di lanskap pertanian. Pada penelitian tahun 2020, umur tanaman jagung memiliki hubungan positif terhadap kelimpahan larva *S. frugiperda*, namun tahun 2022 memiliki hubungan negatif. Pada penelitian tahun 2020, umur tanaman jagung yang diamati, yaitu 3 dan 4 MST, sedangkan pada tahun 2022, umur tanaman jagung yang diamati, yaitu 2 sampai 6 MST. Pada penelitian 2022, kelimpahan larva *S. frugiperda* cenderung sedikit dijumpai pada tanaman jagung berumur 6 minggu. *S. frugiperda* dewasa umumnya mulai bertelur sejak tanaman jagung berumur 1 MST dan mencapai puncaknya pada saat tanaman berumur 2 MST (Supartha et al. 2021) sehingga kondisi ini memungkinkan larva *S. frugiperda* mulai melimpah sejak umur tanaman jagung 3 MST, dan mulai menurun ketika tanaman jagung memasuki umur 6 MST (Sudihardjo et al. 2023).

Elevasi menunjukkan pengaruh signifikan terhadap tingkat serangan larva *S. frugiperda* pada penelitian tahun 2022, namun tidak pada tahun 2020. Peningkatan elevasi menurunkan tingkat serangan. Hasil yang sama juga dilaporkan Wyckhuys & O'Neil (2006) bahwa tingkat serangan larva *S. frugiperda* cenderung rendah pada wilayah dataran tinggi. Elevasi memainkan peran penting dalam membentuk ciri-ciri sejarah hidup *S. frugiperda*, dimana perkembangannya diperlambat oleh suhu yang lebih rendah di daerah dataran tinggi (Susanto et al. 2024). Hasil ini berbeda dengan laporan Rizali et al. (2021) bahwa tingkat serangan *S. frugiperda* berkorelasi positif dengan elevasi, meskipun pengaruhnya signifikan marjinal. Jonsson et al. (2015) menjelaskan bahwa faktor elevasi tentunya tergantung pada identitas hama di lokasi tersebut.

Implikasi dari hasil studi ini memberikan informasi terkait implementasi program konservasi musuh alami lokal untuk mengendalikan populasi hama invasif berdasarkan pemahaman tentang

proses yang bergantung pada lanskap, yang akan mengurangi dampak negatif intensifikasi pertanian. Untuk itu, kedepannya perlu diperhatikan bagaimana pengelolaan habitat semi-alami di lanskap pertanian agar lebih efektif dalam upaya pengendalian hama. Studi ini menunjukkan pentingnya kehadiran habitat semi-alami di sekitar lanskap pertanian untuk mengurangi dampak infestasi hama. Hasil dari penelitian ini memungkinkan untuk implementasi dalam praktik budi daya jagung dan pengelolaan habitat semi-alami untuk meningkatkan pengendalian hama secara biologis dan konservasi musuh alami. Namun, pengujian lebih lanjut tentang efek jarak habitat semi-alami dengan lahan jagung masih diperlukan.

KESIMPULAN

Komposisi lanskap pertanian memengaruhi kelimpahan dan tingkat serangan hama *S. frugiperda*, namun tidak memengaruhi kelimpahan parasitoid dan tingkat parasitasinya pada pertanaman jagung. Peningkatan *class area* habitat semi-alami tidak memengaruhi kelimpahan *S. frugiperda*, parasitoid dan tingkat parasitasi, namun dapat menurunkan tingkat serangan. Bertambahnya luas area lahan pertanian (CA pertanian) dapat meningkatkan populasi larva *S. frugiperda*, namun tidak memiliki dampak terhadap tingkat serangan, kelimpahan parasitoid, dan tingkat parasitasi. Peningkatan *jumlah patch* semi-alami dapat menurunkan serangan *S. frugiperda*. Namun, tidak ada pengaruh signifikan dari jumlah *patch* semi-alami terhadap kelimpahan larva, kelimpahan parasitoid, dan tingkat parasitasi. Peningkatan jumlah *patch* lahan pertanian dapat menurunkan kelimpahan *S. frugiperda*. Pengaruh signifikan dari komposisi lanskap khususnya habitat semi-alami pada penelitian tahun 2020 dan 2022 memberikan bukti bahwa mempertahankan habitat semi-alami di lanskap pertanian penting untuk mengurangi serangan *S. frugiperda* pada tanaman jagung. Umur tanaman jagung juga merupakan faktor penting yang memengaruhi kelimpahan *S. frugiperda*. Selain itu, elevasi juga merupakan faktor yang memengaruhi tingkat serangan larva *S. frugiperda* pada tahun 2022.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Beasiswa Pendidikan Indonesia (BPI) Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia melalui Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) dan Balai Pembiayaan Pendidikan Tinggi (BPPT) yang telah menyediakan dana untuk penelitian ini. Ucapan terimakasih juga kami ucapkan kepada Tim dan Laboran di Laboratorium Pengendalian Hayati, Departemen Proteksi Tanaman, IPB University yang telah membantu selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandhi A, Fernando I, Widjayanti T, Maulidi AK, Radifan HI, Setiawan Y. 2022. Impact of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), invasion on maize and the native *Spodoptera litura* (Fabricius) in East Java, Indonesia, and evaluation of the virulence of some indigenous entomopathogenic fungus. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 32:1–8. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41938-022-00541-7>.
- Ali K, Johnson BA, Putzenlechner B, Wyss D, Ali K, Johnson BA. 2022. Land-use and land-cover classification in semi-arid areas from medium-resolution remote-sensing imagery: A deep learning approach. *Sensors*. 22:1–21. DOI: <https://doi.org/10.3390/S22228750>.
- Alignier A, Raymond L, Deonchat M, Menozzi P, Monteil C, Sarthou JP, Vialatte A, Ouin A. 2014. The effect of semi-natural habitats on aphids and their natural enemies across spatial and temporal scales. *Biological Control*. 77:76–82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.06.006>.
- Álvarez HA, Morente M, Oi FS, Rodríguez E, Campos M, Ruano F. 2019. Semi-natural habitat complexity affects abundance and movement of natural enemies in organic olive orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 285:106618. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106618>.
- Aristizábal N, Metzger JP. 2019. Landscape structure regulates pest control provided by ants in sun coffee farms. *Journal of Applied Ecology*. 56:21–30. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13283>.
- Aune S, Bryn A, Hovstad KA. 2018. Loss of semi-natural grassland in a boreal landscape: Impacts of agricultural intensification and abandonment. *Journal of Land Use Science*. 13:375–390. DOI: <https://doi.org/10.1080/1747423X.2018.1539779>.
- Bianchi FJJA, Booij CJH, Tscharntke T. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: A review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 273:1715–1727. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>.
- Blitzer EJ, Dormann CF, Holzschuh A, Klein AM, Rand TA, Tscharntke T. 2012. Spillover of functionally important organisms between managed and natural habitats. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 146:34–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.09.005>.
- Bouzar-Essaidi K, Branco M, Battisti A, Garcia A, Fernandes MR, Chabane Y, Bouzemarene M, et al. 2021. Response of the egg parasitoids of the pine processionary moth to host density and forest cover at the southern edge of the range. *Agricultural and Forest Entomology*. 23:212–221. DOI: <https://doi.org/10.1111/afe.12423>.
- Breiman L. 2001. Random forests. *Machine Learning*. 45:5–32. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- Brévaut T, Clouvel P. 2019. Pest management: Reconciling farming practices and natural regulations. *Crop Protection*. 115:1–6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.09.003>.
- Chaplin-Kramer R, O'Rourke ME, Blitzer EJ, Kremen C. 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters*. 14:922–932. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01642.x>.
- Chen H, Wang Y, Huang L, Xu C-F, Li J-H, Wang F-Y, Cheng W, et al. 2022. Flight capability and the low temperature threshold of a Chinese field population of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *Insects*. 13:1–11. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects13050422>.
- Clemente-Orta G, Madeira F, Batuecas I, Sossai S, Juárez-Escario A, Albajes R. 2020. Changes in landscape composition influence the abundance of insects on maize: The role of fruit orchards and alfalfa crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 291:106805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106805>.
- CSIRO. 1991. *Insects of Australia, Volume 2: A Textbook for Students and Research Workers*. 2nd

- ed., Vol. 2. Melbourne: Melbourne University Publishing.
- Fernandez-Triana J, Shaw M, Boudreault C, Beaudin M, Broad G. 2020. Annotated and illustrated world checklist of Microgastrinae parasitoid wasps (Hymenoptera, Braconidae). *Zookeys*. 920:1–1089. DOI: <https://doi.org/10.3897/zookeys.920.39128>.
- Gardiner MM, Landis DA, Gratton C, DiFonzo CD, O’Neal M, Chacon JM, Wayo MT, Schmidt NP, Mueller EE, Heimpel GE. 2009. Landscape diversity enhances biological control of an introduced crop pest in the north-central USA. *Ecological Applications*. 19:143–154. DOI: <https://doi.org/10.1890/07-1265.1>.
- Gislason PO, Benediktsson JA, Sveinsson JR. 2006. Random forests for land cover classification. *Pattern Recognition Letters*. 27:294–300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.08.011>.
- González E, Štrobl M, Janšta P, Hovorka T, Kadlec T, Knapp M. 2022. Artificial temporary non-crop habitats support parasitoids on arable land. *Biological Conservation*. 265:109409. DOI: [10.1016/j.biocon.2021.109409](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109409).
- Goulet H, Huber JT. 1993. *Hymenoptera of The World: An Identification Guide to Families*. Ottawa: Agriculture Canada Publication.
- Harrison RD, Thierfelder C, Baudron F, Chinwada P, Midega C, Schaffner U, Berg J van den. 2019. Agro-ecological options for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) management: Providing low-cost, smallholder friendly solutions to an invasive pest. *Journal of Environmental Management*. 243:318–330. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.011>.
- Herlinda S, Simbolon IMP, Hasbi, Suwandi S, Suparman. 2022. Host plant species of the new invasive pest, fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in South Sumatra. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 995:012034. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/995/1/012034>.
- Herlinda S, Suharjo R, Sinaga ME, Fawwazi F, Suwandi. 2021. First report of occurrence of corn and rice strains of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in South Sumatra, Indonesia and its damage in maize. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 21:412–419 DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2021.11.003>.
- Hutasoit RT, Kalqutny SH, Widiarta IN. 2020. Spatial distribution pattern, bionomic, and demographic parameters of a new invasive species of armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera; Noctuidae) in maize of South Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 21:3576–3582. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210821>.
- Jonsson M, Raphael IA, Ekbohm B, Kyamanywa S, Karungi J. 2015. Contrasting effects of shade level and altitude on two important coffee pests. *Journal of Pest Science*. 88:281–287. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0615-1>.
- Jordon MW, Hackett TD, Aboagye-Antwi F, Eziah VY, Lewis OT. 2022. Effects of distance from semi-natural habitat on fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*, J. E. Smith) and its potential natural enemies in Ghana. *Bulletin of Entomological Research*. 112:343–353. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007485321000894>.
- Kalqutny SH, Nonci N, Muis A. 2021. The incidence of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (FAW) (Lepidoptera: Pyralidae), a newly invasive corn pest in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 911:012056. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/911/1/012056>.
- Karp DS, Chaplin-Kramer R, Meehan TD, Martin EA, DeClerck F, Grab H, Gratton C, et al. 2018. Crop pests and predators exhibit inconsistent responses to surrounding landscape composition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 115:E7863–E7870. National Academy of Sciences. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1800042115>.
- Keerthi MC, Suroshe SS, Doddachowdappa S, Shivakumara KT, Mahesha HS, Rana VS, Gupta A, Murukesan A, Casini R, Elansary HO, Shakil NA. 2023. Bio-intensive tactics for the management of invasive fall armyworm for organic maize production. *Plants*. 12:1–18. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12030685>.
- Kennedy GG, Huseeth AS. 2022. Pest species respond differently to farm field size. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 119:1–3. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2214082119>.
- Landis DA. 2017. Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology*. 18:1–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.07.005>.
- Laterza I, Dioli P, Tamburini G. 2023. Semi-natural habitats support populations of stink bug pests in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 342:108223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108223>.
- Martin EA, Seo B, Park CR, Reineking B, Steffan-Dewenter I. 2016. Scale-dependent effects of landscape composition and configuration on

- natural enemy diversity, crop herbivory, and yields. *Ecological Applications*. 26:448–462. DOI: <https://doi.org/10.1890/15-0856>.
- Maruthadurai R, Ramesh R. 2019. Occurrence, damage pattern and biology of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on fodder crops and green amaranth in Goa, India. *Phytoparasitica*. 48:15–23. DOI: <https://doi.org/10.1007/S12600-019-00771-W>.
- McHugh NM, Moreby S, Lof ME, Werf W Van der, Holland JM. 2020. The contribution of semi-natural habitats to biological control is dependent on sentinel prey type. *Journal of Applied Ecology*. 57:914–925. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13596>.
- Mukkun L, Kleden YL, Simamora AV. 2021. Detection of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize field in East Flores District, East Nusa Tenggara Province, Indonesia. *International Journal of Tropical Drylands*. 5:20–26. DOI: <https://doi.org/10.13057/tropdrylands/t050104>.
- Nelly N, Hamid H, Lina EC, Yunisman. 2021. Distribution and genetic diversity of *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Noctuidae: Lepidoptera) on maize in West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 22:2504–2511. DOI: <https://doi.org/10.13057/BIODIV/D220507>.
- Nonci N, Kalgutny SH, Mirsam H, Muis A, Azrai M, Aqil M. 2019. *Pengenalan Fall Armyworm (Spodoptera frugiperda J.E. Smith) Hama Baru pada Tanaman Jagung di Indonesia*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Balai Penelitian Tanaman Serealia. Vol. 73. Maros: Balai Penelitian Tanaman Serealia.
- Nurkomar I, Putra ILI, Buchori D, Setiawan F. 2024. Association of a global invasive pest *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) with local parasitoids: Prospects for a new approach in selecting biological control agents. *Insects*. 15:1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects15030205>.
- Nurkomar I, Putra ILI, Trisnawati DW, Saman M, Pangestu RG, Triyono A. 2021. The existence and population dynamic of new fall armyworm species *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in Yogyakarta, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 752:012023. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/752/1/012023>.
- Perez-Alvarez R, Nault BA, Poveda K. 2018. Contrasting effects of landscape composition on crop yield mediated by specialist herbivores. *Ecological Applications*. 28:842–853. DOI: <https://doi.org/10.1002/eap.1695>.
- Perez-Alvarez R, Nault BA, Poveda K. 2019. Effectiveness of augmentative biological control depends on landscape context. *Scientific Reports* 9:1–15. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45041-1>.
- Plečaš M, Gagić V, Janković M, Petrović-Obradović O, Kavallieratos NG, Tomanović Ž, Thies C, Tscharnke T, Četković A. 2014. Landscape composition and configuration influence cereal aphid–parasitoid–hyperparasitoid interactions and biological control differentially across years. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 183:1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.016>.
- Poveda K., Gómez MI., Martínez E. 2008. Diversification practices: Their effect on pest regulation and production. *Revista Colombiana de Entomología*. 34:131–144. DOI: <https://doi.org/10.25100/socolen.v34i2.9269>.
- Qiu S, He B, Yin C, Liao Z. 2017. Assessments of sentinel-2 vegetation red-edge spectral bands for improving land cover classification. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-2/W7:871–874. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W7-871-2017>.
- R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. *R foundation for statistical computing, Vienna, Austria*. Retrieved May 1, 2024, from <https://www.r-project.org/>
- Rizali A, Himawan T, Yuniasari N, Yuliantanti N, Bachtiar MA, Rafid EDR. 2022. Contribution of agricultural landscape composition on shaping the interaction between pests and natural enemies in cacao agroforestry. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*. 44:479–489. DOI: <https://doi.org/10.17503/agrivita.v44i3.3388>.
- Rizali A, Karindah S, Himawan T, Meiadi MLT, Rahardjo BT, Nurindah, Sahari B. 2019. Parasitoid wasp communities on oil palm plantation: Effects of natural habitat existence are obscured by lepidopteran abundance. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 22:903–907. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2019.07.012>.
- Rizali A, Oktaviani, Putri SDPS, Doananda M, Linggani A. 2021. Invasion of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, a new invasive pest, alters native herbivore attack intensity and natural enemy diversity. *Biodiversitas*. 22:3482–3488. DOI: <https://doi.org/10.13057/BIODIV/D220847>.
- Rosenheim JA, Cluff E, Lippey MK, Cass BN, Paredes D, Parsa S, Karp DS, Chaplin-Kramer

- R. 2022. Increasing crop field size does not consistently exacerbate insect pest problems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 119:1–8. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2208813119>.
- Rusch A, Caplin-Kramer R, Gardiner MM, Hawro V, Holland J, Landis D, Thies C, Tschamtk T, Weisser WW, Winqvist C, Woltz M, Bommarco R. 2016. Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 221:198–204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.039>.
- Santos AD Dos, Onody HC, Brandão CRF. 2019. Taxonomic contributions to the genus *Charops* Holmgren, 1859 (Hymenoptera: Ichneumonidae), with description of seven new species from Brazil. *Zootaxa*. 4619:45–76. DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4619.1.2>.
- Sarthou JP, Badoz A, Vaissière B, Chevallier A, Rusch A. 2014. Local more than landscape parameters structure natural enemy communities during their overwintering in semi-natural habitats. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 194:17–28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.04.018>.
- 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 Conference Series: Earth and Environmental Science*. 468:012021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/468/1/012021>.
- Sisay B, Simiyu J, Mendesil E, Likhayo P, Ayalew G, Mohamed S, Subramanian S, Tefera T. 2019. Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* infestations in East Africa: Assessment of damage and parasitism. *Insects*. 10:1–10. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects10070195>.
- Sudihardjo D, Samanhudi, Sholahuddin, Pujiasmanto B, Rahayu M, Setyawati A. 2023. Intensity attacks of *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) on several corn varieties in Kediri, East Java, Indonesia. *Biodiversitas*. 24:6979–6987. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/D241259>.
- Supartha IW, Susila IW, Sunari AAAAS, Mahaputra IGF, Yudha IKW, Wiradana PA. 2021. Damage characteristics and distribution patterns of invasive pest, *Spodoptera frugiperda* (J.E Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on maize crop in Bali, Indonesia. *Biodiversitas*. 22:3378–3389. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220645>.
- Supeno B, Tarmizi, Haryanto H, Ernawati NML. 2021. Parasitoid of fall armyworm larvae, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on mize at Lombok Island. *Proceeding International Conference on Science and Technology*. 2:460–466.
- Susanto A, Setiawati W, Udiarto BK, Kurniadie D. 2021. Toxicity and efficacy of selected insecticides for managing invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on maize in Indonesia. *Research on Crops*. 22:652–665. DOI: <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.114>.
- Susanto Agus, Setiawati W, Muharam A, Udiarto BK, Suganda T, Putri SNS. 2024. Fitness and survival of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on maize in West Java, Indonesia. *Sains Malaysiana*. 53:3085–3095. DOI: <https://doi.org/10.17576/jsm-2024-5309-14>.
- Syahidah T, Rizali A, Prasetyo LB, Pudjianto, Buchori D. 2020. Landscape composition alters parasitoid wasps but not their host diversity in tropical agricultural landscapes. *Biodiversitas*. 21:1702–1706. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210452>.
- Syahidah T, Rizali A, Prasetyo LB, Pudjianto, Buchori D. 2021. Composition of tropical agricultural landscape alters the structure of host-parasitoid food webs. *Heliyon*. 7:e07625. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07625>.
- Tabuchi K, Taki H, Iwai H, Mizutani N, Nagasaka K, Moriya S, Sasaki R. 2014. Abundances of a bean bug and its natural enemy in seminatural and cultivated habitats in agricultural landscapes. *Environmental Entomology*. 43:312–319. DOI: <https://doi.org/10.1603/EN13115>.
- Trisyono YA, Suputa S, Aryuwandari VEF, Hartaman M, Jumari J. 2019. Occurrence of heavy infestation by the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, a new alien invasive pest, in corn Lampung Indonesia. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 23:156–160. DOI: <https://doi.org/10.22146/jpti.46455>.
- Tschamtk T, Bommarco R, Clough Y, Crist TO, Kleijn D, Rand TA, Tylianakis JM, van Nouhuys S, Vidal S. 2007. Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biological Control*. 43:294–309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.08.006>.
- Tschamtk T, Karp DS, Chaplin-Kramer R, Batáry P, DeClerck F, Gratton C, Hunt L, et al. 2016. When natural habitat fails to enhance biological

- pest control—Five hypotheses. *Biological Conservation*. 204:449–458. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.001>.
- Tscharntke T, Sekercioglu CH, Dietsch TV, Sodhi NS, Hoehn P, Tylianakis JM. 2008. Landscape constraints on functional diversity of birds and insects in tropical agroecosystems. *Ecology*. 89:944–951. DOI: <https://doi.org/10.1890/07-0455.1>.
- Ulina ES, Rizali A, Manuwoto S, Pudjianto, Buchori D. 2019. Does composition of tropical agricultural landscape affect parasitoid diversity and their host–parasitoid interactions? *Agricultural and Forest Entomology*. 21:318–325. DOI: <https://doi.org/10.1111/AFE.12334>.
- Vebyanti A, Daud ID, Dungga NE. 2023. Damage caused by *Spodoptera frugiperda* J.E Smith on corn in climate zones in South Sulawesi, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1255:1–8. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1255/1/012011>.
- Veres A, Petit S, Conord C, Lavigne C. 2013. Does landscape composition affect pest abundance and their control by natural enemies? A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 166:110–117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.027>.
- Westbrook JK, Nagoshi RN, Meagher RL, Fleischer SJ, Jairam S. 2015. Modeling seasonal migration of fall armyworm moths. *International Journal of Biometeorology*. 60:255–267. DOI: <https://doi.org/10.1007/S00484-015-1022-X>.
- Whitfield J. 1997. Subfamily Microgastrinae. In: Wharton R, Marsh P, Sharkey M (Eds.), *Manual of the new world Genera of the family Braconidae (Hymenoptera)*. pp. 333–364. International Society of Hymenopterists.
- Woltz JM, Isaacs R, Landis DA. 2012. Landscape structure and habitat management differentially influence insect natural enemies in an agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 152:40–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.02.008>.
- Woltz JM, Landis DA. 2014. Coccinellid response to landscape composition and configuration. *Agricultural and Forest Entomology*. 16:341–349. DOI: <https://doi.org/10.1111/AFE.12064>.
- Wu LH, Zhou C, Long GY, Yang X Bin, Wei ZY, Liao YJ, Yang H, et al. 2021. Fitness of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* to three solanaceous vegetables. *Journal of Integrative Agriculture*. 20:755–763. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63476-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63476-1).
- Wyckhuys KAG, O’Neil RJ. 2006. Population dynamics of *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) and associated arthropod natural enemies in Honduran subsistence maize. *Crop Protection*. 25:1180–1190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.03.003>.
- Zhang DD, Xiao YT, Xu PJ, Yang XM, Wu QL, Wu KM. 2021. Insecticide resistance monitoring for the invasive populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in China. *Journal of Integrative Agriculture*. 20:783–791. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63392-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63392-5).
- Zhang Y, Haan NL, Landis DA. 2020. Landscape composition and configuration have scale-dependent effects on agricultural pest suppression. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 302:107085. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107085>.
- Zhao ZH, Hui C, He DH, Li BL. 2015. Effects of agricultural intensification on ability of natural enemies to control aphids. *Scientific Reports*. 5:1–7. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep08024>.
- Zhou C, Wang L, Price M, Li J, Meng Y, Yue BS. 2020. Genomic features of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) (J.E. Smith) yield insights into its defense system and flight capability. *Entomological Research*. 50:100–112. DOI: <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12413>.