

**ANALISIS KOMPARASI KERAGAMAN SERANGGA DIURNAL DI
PERKEBUNAN KOPI ROBUSTA PADA PERIODE PEMATANGAN BUAH
BERDASARKAN PREDIKSI KECERDASAN BUATAN DAN
EKSPLORASI LAPANGAN**

Skripsi

Oleh

**ARIL AFANDI
NPM 2217061033**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**ANALISIS KOMPARASI KERAGAMAN SERANGGA DIURNAL DI
PERKEBUNAN KOPI ROBUSTA PADA PERIODE PEMATANGAN BUAH
BERDASARKAN PREDIKSI KECERDASAN BUATAN DAN
EKSPLORASI LAPANGAN**

Oleh

ARIL AFANDI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Biologi

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

ANALISIS KOMPARASI KERAGAMAN SERANGGA DIURNAL DI PERKEBUNAN KOPI ROBUSTA PADA PERIODE PEMATANGAN BUAH BERDASARKAN PREDIKSI KECERDASAN BUATAN DAN EKSPLORASI LAPANGAN

Oleh

ARIL AFANDI

Kopi robusta merupakan komoditas strategis di Indonesia yang produktivitasnya dipengaruhi oleh keseimbangan ekosistem, termasuk keberadaan dan peran serangga diurnal. Fase pematangan buah kopi berperan penting dalam menentukan kualitas biji sekaligus memengaruhi struktur komunitas serangga. Namun, proses identifikasi serangga secara konvensional memerlukan waktu dan keahlian khusus, sehingga pemanfaatan AI, khususnya ChatGPT-5.1 (*free version*), berpotensi menjadi alternatif dalam memprediksi keragaman serangga secara lebih efisien. Penelitian ini bertujuan menganalisis keragaman serangga diurnal pada fase pematangan buah kopi robusta serta membandingkannya dengan hasil prediksi berbasis AI yang dikembangkan melalui *data mining* terhadap 15 literatur terakreditasi SINTA dan terindeks *Scopus*. Penelitian menggunakan pendekatan campuran dengan pengumpulan data primer melalui *sweep net*, *hand collecting*, *pitfall trap*, dan *yellow trap*, serta pengukuran faktor lingkungan meliputi suhu, kelembapan, pH tanah, dan intensitas cahaya. Analisis keragaman dilakukan menggunakan indeks Shannon–Wiener (H') dan indeks dominansi Simpson (C'), kemudian dibandingkan secara deskriptif antara hasil prediksi AI dan eksplorasi lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prediksi berbasis AI menghasilkan 27 spesies dari 8 ordo dengan nilai H' sebesar 2,813 dan C' sebesar 0,077, sedangkan eksplorasi lapangan mencatat 57 spesies dari 9 ordo dengan nilai H' sebesar 3,062 dan C' sebesar 0,088. Tingkat keragaman dan komposisi spesies hasil eksplorasi lapangan lebih tinggi dibandingkan prediksi AI, yang mengindikasikan bahwa pendekatan AI, khususnya ChatGPT-5.1 (*free version*), belum sepenuhnya mampu merepresentasikan keragaman serangga diurnal pada perkebunan kopi robusta fase pematangan buah secara akurat.

Kata kunci: ChatGPT-5.1 (*free version*), keragaman serangga, kopi robusta, prediksi AI, serangga diurnal.

ABSTRACT

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIURNAL INSECT DIVERSITY IN ROBUSTA COFFEE PLANTATIONS DURING THE FRUIT RIPENING PERIOD BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE PREDICTION AND FIELD EXPLORATION

By

ARIL AFANDI

Robusta coffee is a strategic commodity in Indonesia whose productivity is strongly influenced by ecosystem balance, including the presence and ecological roles of diurnal insects. The fruit ripening phase of coffee plants plays a crucial role in determining bean quality while also affecting the structure of insect communities. However, conventional insect identification is time-consuming and requires specialized expertise, thereby encouraging the use of AI, particularly ChatGPT-5.1 (*free version*), as a potential alternative for efficiently predicting insect diversity. This study aimed to analyze the diversity of diurnal insects during the fruit ripening phase of robusta coffee and to compare field observations with AI-based predictions developed through *data mining* of 15 SINTA-accredited and Scopus-indexed publications. A mixed-methods approach was employed, with primary data collected using *sweep nets*, *hand collecting*, *pitfall traps*, and *yellow traps*, accompanied by measurements of environmental variables including temperature, humidity, soil pH, and light intensity. Insect diversity was analyzed using the Shannon–Wiener diversity index (H') and Simpson's dominance index (C'), followed by a descriptive comparison between AI predictions and field exploration results. The results showed that AI-based predictions identified 27 species belonging to 8 orders, with an H' value of 2.813 and a C' value of 0.077, whereas field exploration recorded 57 species from 9 orders, with an H' value of 3.062 and a C' value of 0.088. The higher diversity and species composition observed in field data indicate that the AI-based approach, particularly ChatGPT-5.1 (*free version*), has not yet fully represented the actual diversity of diurnal insects in robusta coffee plantations during the fruit ripening phase.

Keyword: AI-based prediction, ChatGPT-5.1 (*free version*), diurnal insects, insect diversity, robusta coffee.

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : ANALISIS KOMPARASI KERAGAMAN
SERANGGA DIURNAL DI PERKEBUNAN
KOPI ROBUSTA PADA PERIODE
PEMATANGAN BUAH BERDASARKAN
PREDIKSI KECERDASAN BUATAN DAN
EKSPLORASI LAPANGAN

Nama Mahasiswa : Arif Afandi

Nomor Pokok Mahasiswa : 2217061033

Program Studi : Biologi Terapan

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYUTUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Priyambodo, S.Pd., M.Sc.

NIP 198611142015041003

Pembimbing II



Nindy Permatasari, S.Pd., M.Sc.

NIP 198912092022032005

2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA UNILA



Dr. Jani Masten, S.Si., M.Si.

NIP 198301312008121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Priyambodo, S.Pd., M.Sc.



Sekretaris : Nindy Permatasari, S.Pd., M.Sc.



Anggota : Gina Dania Pratami, S.Si., M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 06 Maret 2026

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang beratanda tangan di bawah ini:

Nama : Aril Afandi
NPM : 2217061033
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa skripsi saya berjudul:

“Analisis Komparasi Keragaman Serangga Diurnal di Perkebunan Kopi Robusta pada Periode Pematangan Buah Berdasarkan Prediksi Kecerdasan Buatan dan Eksplorasi Lapangan”.

Baik gagasan dan pembahasannya adalah karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Jika di kemudian hari terbukti pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik baik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum.

Bandar Lampung, 13 Maret 2026
Yang menyatakan,



Aril Afandi
NPM 2217061033

RRIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Srikaton, pada tanggal 29 November 2003 sebagai anak tunggal dari pasangan Bapak Budi Santoso dan Ibu Suprapti. Penulis saat ini beralamat di Desa Srikaton, Kecamatan Adiluwih, Kabupaten Pringsewu, Lampung.

Penulis mengawali pendidikan formal pada tingkat dasar di MI Hidayatul Mubtadiin Srikaton, mulai tahun 2010 – 2016. Setelah menyelesaikan pendidikan dasar, penulis melanjutkan pendidikannya di Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Adiluwih pada 2016 – 2019 dan tingkat Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Adiluwih pada 2019 – 2022. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S1 Biologi Terapan, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan, yaitu Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) FMIPA Universitas Lampung sebagai anggota Bidang Kesekretariatan dan Logistik. Selain itu, penulis juga berpartisipasi sebagai Koordinator pada kegiatan Pekan Konservasi Sumber Daya Alam (PKSDA) HIMBIO FMIPA Universitas Lampung.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) pada tahun 2024 di Instalasi Pengujian dan Penerapan Standar Instrumen Pertanian (IP2SIP) Natar, Balai Penerapan Standar Instrumen Pertanian (BPSIP) Lampung. Kegiatan tersebut dilaksanakan dengan judul “Optimasi Dosis Pupuk Hayati Liquid Organic Biofertilizer (LOB) untuk Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* L.)”. Penulis juga pernah menjadi presenter pada seminar internasional seperti The 3rd International *Conference on Medical Science and*

Health (ICOMESH) 2025. Selama berkuliah penulis menghasilkan 8 publikasi ilmiah, dimana dua diantaranya menjadi penulis utama dengan judul “Kajian karakter morfologis lebah tanpa sengat pada tujuh koloni di Sido Mulyo, Punggur, Lampung Tengah." pada jurnal KENANGA: Journal of Biological Sciences and Applied Biology, 5 (1), 1–12. dan “Analisis komparatif keragaman serangga tanah diurnal pada perkebunan kopi berdasarkan prediksi AI dan eksplorasi lapangan” pada jurnal Biogenerasi, 10(4), 2096–2108.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT, aku persembahkan hasil karyaku dengan penuh kasih dan cinta kepada: Ibu, Bapak, dan keluargaku yang selalu memberikan cinta, kasih sayang, dan semangat baik moral dan materil, serta senantiasa mendoakan di setiap langkahku.

Ibu dan Bapak dosen pembimbing yang dengan sangat sabar telah memberikan bimbingan, arahan, dan semangat.

Teman - teman seperjuangan yang senantiasa berjuang dan saling memberikan dukungan serta semangat satu sama lain.

Almamater tercinta, Jurusan Biologi, Universitas Lampung.

MOTTO

“Apabila sesuatu yang kau senangi tidak terjadi, maka senangilah apa yang terjadi.”

(Ali bin Abi Thalib)

“Allah tidak pernah mewajibkan kita untuk sampai ke ujung perjuangan; Allah hanya meminta kita untuk berdiri, berjalan di jalan itu, atau mati di atasnya.”

(Hassan Al-Banna)

“Seiring ilmu pengetahuan bertambah, seharusnya yang tumbuh itu kebijaksanaan, bukan ego.”

(Ferry Irwandi)

“Setiap kali ada revolusi di bidang industri penemuan mesin uap, listrik maupun sekarang AI selalu ada yang termarginalkan, industri pertaman revolusinya menghasilkan kaum buruh, AI pun demikian akan tercipta dua kelas, yaitu kelas yang terjajah secara pemikiran dan kelas yang bisa mengeksploitasinya.”

(Bagus Muljadi)

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahirabbil 'alamin,

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Komparasi Keragaman Serangga Diurnal di Perkebunan Kopi Robusta pada Periode Pematangan Buah Berdasarkan Prediksi Kecerdasan Buatan dan Eksplorasi Lapangan**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Selama penyusunan skripsi ini, penulis telah banyak menerima bantuan, dukungan, motivasi, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Jani Master, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung;
4. Ibu Gina Dania Pratami, S.Si., M.Si., selaku Ketua Program Studi S1 Biologi Terapan, Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung. Serta sebagai dosen penguji. Penulis mengucapkan banyak terima kasih karena telah memberikan masukan dan arahan kepada penulis;
5. Bapak Priyambodo, S.Pd., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I yang dengan sabar telah membimbing, memberikan semangat, dan memberikan arahan dan saran selama proses penelitian dan penyusunan skripsi. Penulis mengucapkan

banyak terima kasih karena telah menjadi pembimbing skripsi, orangtua, dan guru yang sangat memotivasi;

6. Ibu Nindy Permatasari, S.Pd., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II yang dengan sabar telah membimbing, memberikan semangat, dan memberikan ilmu selama proses penelitian dan penyusunan skripsi. Penulis mengucapkan banyak terima kasih karena telah menjadi pembimbing skripsi, orangtua, dan guru yang sangat memotivasi;
7. Seluruh dosen, laboran, staff, dan karyawan Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Lampung yang juga berjasa selama penulis menyelesaikan studi;
8. Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu dan Ayah tercinta, Ibu Suprpti dan Bapak Budi Santoso atas kesabarannya, selalu memberikan kasih sayang yang tak terhingga, dukungan moral maupun materi, dan segala doa restunya yang menyertai setiap perjalanan hidup penulis;
9. Suhada, selaku salah satu rekan dan pemilik Perkebunan Kopi Rakyat Gunung Betung, Wiyono, Pesawaran, Lampung;
10. Kepada Tim Keris Priyambodo 2025, Winarno, Anggi Safitri, Asyifa Zahara Fitrisyah, Vivin Apriani, Nur Ayu Saputri, Annisa Lidya Maharani, M. Idris Afta Pratama, Rama Arsalta Bara Saputra, Arrahmaan Syah Pawaka, Nabila Aulia Rhamadaningtyas, Yolande Cathleya Soegiharto dan Cindy Ameliya Vega yang telah membantu penulis dalam mengumpulkan data dan menyelesaikan penulisan skripsi.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diperlukan dalam penyusunan karya tulis ilmiah di kemudian hari.

Bandar Lampung, 13 Maret 2026

Penulis

Aril Afandi

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	5
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Kerangka Berpikir.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Serangga.....	8
2.1.1 Pengertian Serangga	8
2.1.2 Morfologi Serangga.....	9
2.1.3 Klasifikasi Serangga	12
2.1.4 Siklus Hidup Serangga	14
2.1.5 Faktor Keragaman Serangga	16
2.1.6 Peran Serangga	18
2.1.7 Serangga Diurnal	20
2.2 Kopi Robusta	21
2.2.1 Morfologi Kopi Robusta.....	22
2.2.2 Fase Perkembangan Kopi	28
2.2.3 Perkebunan Kopi	29
2.3 Kecerdasan Buatan.....	31
2.3.1 Perkembangan Kecerdasan Buatan	31
2.3.2 ChatGPT	32
2.3.3 Kemampuan ChatGPT.....	33

III. METODE PENELITIAN	34
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	34
3.2 Alat dan Bahan.....	35
3.3 Metode Penelitian	35
3.4 Prediksi Berbasis AI	37
3.4.1 <i>Data Mining</i>	37
3.4.2 <i>Prompting AI</i>	39
3.4.3 Tabulasi dan Analisis Data AI.....	40
3.5 Eksplorasi Lapangan.....	41
3.5.1 Pengukuran Parameter lingkungan.....	41
3.5.2 Teknik Pengambilan Sampel.....	42
3.5.3 Identifikasi Serangga	46
3.5.4 Analisis Data Eksplorasi Lapangan.....	47
3.6 Analisis Data.....	48
3.6.1 Rekapitulasi Data.....	48
3.6.2 Uji Komparasi	48
IV. HASIL DAN PEMBASAN	50
4.1 Pengukuran Parameter Lingkungan.....	50
4.2 Keragaman Serangga Berdasarkan Prediksi AI.....	53
4.3 Keragaman Serangga Berdasarkan Eksplorasi Lapangan.....	56
4.4 Hasil Analisis Data Prediksi AI	64
4.5 Hasil Analisis Data Eksplorasi Lapangan.....	66
4.6 Analisis Komparasi.....	70
4.7 Implikasi Ekologi Temuan Penelitian.....	78
V. KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN.....	95

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Sumber <i>dataset</i> prediksi AI	37
Tabel 2. Komponen <i>dataset</i> prediksi AI.....	38
Tabel 3. Pelatihan <i>prompting</i> ChatGPT	39
Tabel 4. Hasil pengukuran parameter lingkungan.....	52
Tabel 5. Hasil prediksi ai atas keragaman serangga.....	54
Tabel 6. Hasil prediksi ai atas keragaman serangga.....	56
Tabel 7. Indeks keanekaragaman dan dominansi prediksi AI	65
Tabel 8. Indeks keanekaragaman dan dominansi eksplorasi lapangan	68
Tabel 9. Komposisi serangga antara prediksi AI dan eksplorasi lapangan	70
Tabel 10. Komparasi antara prediksi AI dan eksplorasi lapangan	77

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Kerangka berpikir.....	7
Gambar 2. Morfologi serangga	10
Gambar 3. Morfologi kepala (<i>Caput</i>)	11
Gambar 4. Morfologi dada (<i>Thorax</i>).....	11
Gambar 5. Morfologi perut (<i>Abdomen</i>)	12
Gambar 6. Klasifikasi serangga	13
Gambar 7. Tipe siklus hidup serangga	15
Gambar 8. Morfologi kopi robusta.....	27
Gambar 9. Lokasi penelitian	35
Gambar 10. Prosedur penelitian.....	36
Gambar 11. Pengukuran parameter lingkungan	42
Gambar 12. Skema penempatan plot.	42
Gambar 13. <i>Pitfall trap</i>	44
Gambar 14. <i>Yellow trap</i>	45
Gambar 15. Buku identifikasi serangga	46
Gambar 16. Lanskap perkebunan kopi robusta.....	51
Gambar 17. Spesies dengan individu jumlah tinggi	59
Gambar 18. Spesies dengan jumlah individu sedang.....	60
Gambar 19. Spesies dengan jumlah individu rendah	61
Gambar 20. Grafik perbandingan ordo serangga	72
Gambar 21. Diagram irisan (<i>Venn</i>) kesamaan komposisi spesies serangga.....	73
Gambar 22. Grafik perbandingan indeks ekologi	75

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kopi merupakan komoditas perkebunan yang memegang peranan penting dalam sektor perekonomian di Indonesia. Selain berkontribusi terhadap penerimaan devisa negara, perkebunan kopi juga berperan penting dalam aspek sosial, ekonomi, dan ekologi. (Ikhwana dkk., 2017). Indonesia sendiri termasuk dalam jajaran produsen sekaligus eksportir kopi terbesar di dunia. Berdasarkan data tahun tahun 2020, Produksi kopi nasional diperkirakan mencapai 692.906 ton, sementara konsumsi kopi domestik tercatat sekitar 309.771 ton (Fithriyyah dkk., 2022). Menurut BPS Indonesia (2024), Luas perkebunan kopi Indonesia tumbuh 918 ha (naik 0,05%) dari 1.265,93 ha pada 2022 menjadi 1.266,85 ha pada 2023. Namun, pada kenyataannya, produksi kopi nasional justru menurun dalam tiga tahun terakhir, dari 786,19 ribu ton pada 2021 menjadi 774,96 ton pada 2022 atau turun 1,43%. Menariknya, perkebunan rakyat menyumbang 99,56% dari total produksi kopi Indonesia pada 2023, dibandingkan dengan 0,36% (PBN) dan 0,07% (PBS). Di Indonesia varietas kopi yang sering dibudidayakan yaitu arabika, liberika, dan robusta. Kopi robusta sering dibudidayakan karena produktivitas lebih tinggi dibandingkan arabika, liberika (Nugroho dkk., 2022).

Produksi kopi sangat bergantung pada daya dukung ekosistem untuk menjaga dan meningkatkan produktivitas tanaman. Salah satu bentuk daya dukung ekosistem yaitu dengan adanya penyerbuk, pengurai dan sebagai pengendali hama alami. Serangga berkontribusi menyediakan peran tersebut dalam ekosistem yang menunjang keseimbangan dan mendukung pertanian yang

ramah lingkungan (Verma *et al.*, 2023). Serangga memiliki peran bagi kesehatan lingkungan, karena keberadaannya mampu menjaga keseimbangan ekosistem melalui berbagai fungsi ekologis. Serangga berperan sebagai polinator, dekomposer, parasitoid, dan predator dalam ekosistem. Populasi serangga dapat berfungsi sebagai penanda kesehatan ekosistem, keanekaragaman hayati, dan kerusakan lanskap (Taradipha *et al.*, 2019). Fungsi dan interaksi antara serangga dan tanaman terkait dengan keberadaan serangga pada tanaman. Serangga dianggap merugikan jika kehadirannya mengganggu dan merusak tanaman, sedangkan serangga dianggap berguna jika dapat membantu penyerbukan, penguraian dan pengendali hama secara alami (Rahmi dkk., 2023). Salah satu kelompok serangga yang memiliki peranan penting dalam ekosistem perkebunan kopi adalah serangga diurnal.

Keanekaragaman serangga diurnal di lingkungan perkebunan kopi berperan penting dalam menjaga keseimbangan biologis dan stabilitas fungsi ekosistem. Serangga diurnal, yang aktif pada siang hari, mencakup berbagai kelompok fungsional seperti polinator, predator, parasitoid, dekomposer, hingga hama, dengan pola aktivitas yang sangat dipengaruhi oleh kondisi mikrohabitat dan ketersediaan sumber daya pada tanaman kopi. Secara ekologis, kontribusi serangga diurnal terhadap proses-proses ekosistem tanaman dilaporkan lebih dominan dibandingkan serangga nokturnal (Luo *et al.*, 2011). Menurut Johnson *et al.*, (2024) Beberapa hama utama kopi juga menunjukkan aktivitas diurnal, khususnya pada pagi dan sore hari, seperti *Coffee Berry Borer* yang menyerang buah kopi dan menurunkan kualitas biji, terutama pada fase pematangan buah. Fase pematangan buah tahap penting dalam siklus tanaman, di mana perubahan fisik dan kimia termasuk warna, tekstur, dan aroma terjadi, yang memengaruhi daya tarik buah bagi serangga. Selain menarik serangga penyerbuk, perubahan ini menyediakan akses bagi parasitoid, hama, predator, dan serangga pemakan buah (Djaya dkk., 2022).

Masa pematangan buah kopi merupakan fase krusial dalam menentukan kualitas akhir biji kopi, yang ditandai dengan perubahan morfologi, fisiologis, dan kimia. Buah kopi berkembang melalui berbagai tahap, mulai dari hijau,

kuning, merah, hingga matang dan kering (Osorio Pérez *et al.*, 2023). Lama pematangan buah kopi bervariasi tergantung varietas dan kondisi lingkungan, berkisar antara 205–226 hari di daerah panas hingga 375–396 hari di iklim sejuk (de Oliveira Aparecido *et al.*, 2018). Seiring dengan berlangsungnya fase pematangan buah kopi berbagai kelompok serangga hadir pada fase tersebut. Menurut penelitian yang dilakukan Moreno-Ramirez *et al.*, (2024), hama penggerek buah menjadi serangga yang sering ditemukan pada fase pematangan buah kopi, yang mulai menyerang sejak 90–120 hari setelah berbunga hingga panen. Selain itu juga ditemukan serangga kutu putih (Pseudococcidae), kumbang nitidulid (Nitidulidae), dan semut (Formicidae) yang memanfaatkan gula yang sudah mulai ada pada fase pematangan buah. Di sisi lain, terdapat juga serangga parasitoid dan serangga predator seperti *Prorops nasuta* dan semut *Azteca* dapat berperan dalam menekan populasi hama pada fase pematangan buah. Masa pematangan buah kopi tidak hanya krusial bagi kualitas pascapanen, tetapi juga menentukan dinamika komunitas serangga yang berasosiasi dengannya.

Sebagai pengendali biologis alami terhadap hama, penyerbuk tanaman, dan indikator lingkungan, serangga sangat penting bagi lingkungan pertanian. Akan tetapi, ada spesies serangga lain yang berpotensi menjadi hama dan secara signifikan mengurangi produktivitas pertanian. Pemantauan dan identifikasi keanekaragaman serangga merupakan langkah penting dalam mendukung pertanian. Proses identifikasi serangga secara manual memerlukan keahlian taksonomi dan waktu yang cukup lama, sehingga menjadi tantangan tersendiri dalam pengambilan keputusan cepat di sektor pertanian (Teixeira *et al.*, 2023). Seiring dengan kemajuan teknologi, AI atau *Artificial Intelligence* mulai digunakan di bidang pertanian. Teknologi AI memungkinkan identifikasi spesies serangga secara otomatis menggunakan algoritma pembelajaran mesin dan foto digital. Telah dibuktikan bahwa metode ini meningkatkan efisiensi dan akurasi identifikasi sekaligus memungkinkan pemantauan keanekaragaman hayati secara real-time (Potamitis *et al.*, 2017).

AI merupakan salah satu teknologi paling canggih yang muncul sebagai hasil dari kemajuan teknologi yang pesat (Haenlein & Kaplan, 2019). AI dan otomatisasi mendorong terciptanya solusi yang lebih berkelanjutan dan efektif untuk berbagai macam permasalahan dalam berbagai bidang salah satunya dalam bidang ekologi. Model AI mulai banyak dikembangkan untuk mampu mendeteksi spesies secara real time dan dengan akurasi yang tinggi (Tannous *et al.*, 2023). Teknologi AI dapat memodelkan dan mengenali serangga dari data yang diberikan. Kemampuan model untuk mengidentifikasi spesies akan meningkat seiring dengan jumlah data yang diterimanya (Indriati *et al.*, 2023).

Seiring dengan kemajuan teknologi AI, penggunaan *large language models* (LLM) seperti ChatGPT, telah diteliti dalam berbagai bidang ilmu, termasuk ekologi dan kesehatan. ChatGPT dirancang untuk memahami, mengevaluasi, dan menghasilkan teks secara intuitif dari masukan data yang tidak terstruktur. Penelitian Potočnik *et al.*, (2025) menunjukkan bahwa ChatGPT memiliki kemampuan untuk memahami data klinis dan memberikan saran berdasarkan teks bebas, dengan tingkat akurasi informasi yang lebih tinggi ketika materinya komprehensif dan menyeluruh. Kapasitasnya untuk mengidentifikasi pola dan memberikan prediksi berbasis teks menjadikannya alat yang potensial untuk berbagai aplikasi ilmiah. ChatGPT sendiri memiliki beberapa versi yang terus dikembangkan, baik versi gratis maupun berbayar, dengan perbedaan pada tingkat kemampuan dan fitur yang tersedia. Salah satu versi yang dapat diakses oleh pengguna tanpa biaya adalah ChatGPT-5.1 (*free version*). Penggunaan versi dasar atau versi gratis tercatat sebagai yang paling dominan, dengan sekitar 97% pengguna secara global (AllAboutAI, 2025).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai keanekaragaman serangga diurnal pada fase pematangan buah kopi di perkebunan kopi robusta Gunung Betung, Desa Wiyono, Kecamatan Gedong Tataan, Kabupaten Pesawaran. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas serta akurasi metode prediksi

berbasis AI, khususnya ChatGPT-5.1 (*free version*) dalam memprediksi keragaman serangga diurnal. Tujuan ini sejalan dengan penelitian Escobar-Ramírez *et al.*, (2020) yang menunjukkan bahwa praktik intensif pada perkebunan kopi berpengaruh terhadap pola keanekaragaman serangga yang berperan sebagai agen pengendali hayati, dan kondisi tersebut berkorelasi dengan tingkat heterogenitas lanskap di kawasan Gunung Betung. Oleh karena itu, pengembangan model AI, seperti pendekatan *deep learning*, dipandang perlu untuk diaplikasikan dalam identifikasi keragaman serangga (Chiranjeevi *et al.*, 2023).

AI mempermudah identifikasi serangga secara efisien, meskipun demikian penelitian harus tetap mempertimbangkan aspek integritas ilmiah dan prosedural dalam penggunaannya. Sebagaimana ditegaskan oleh Priyambodo & Permatasari, (2024) yang menekankan perlunya verifikasi ulang melalui pengamatan visual dan deskripsi fenotipik serangga guna menjaga validasi dan memastikan akurasi biologis dari prediksi yang dihasilkan ChatGPT-5.1 (*free version*).

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana hasil prediksi keragaman serangga diurnal selama periode pematangan buah di perkebunan kopi berdasarkan pemodelan AI?
2. Bagaimana tingkat keragaman serangga diurnal selama periode pematangan buah di perkebunan kopi robusta berdasarkan hasil eksplorasi lapangan?
3. Bagaimana hasil komparasi antara prediksi AI dan eksplorasi data lapangan terkait serangga diurnal selama masa pematangan buah di perkebunan kopi robusta?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil prediksi keragaman serangga diurnal selama periode pematangan buah di perkebunan kopi melalui pemodelan AI.
2. Mengetahui tingkat keragaman serangga diurnal selama periode pematangan buah di perkebunan kopi Robusta berdasarkan hasil eksplorasi lapangan.
3. Melakukan komparasi antara prediksi AI dan eksplorasi data lapangan terkait keragaman serangga diurnal selama masa pematangan buah di perkebunan kopi robusta.

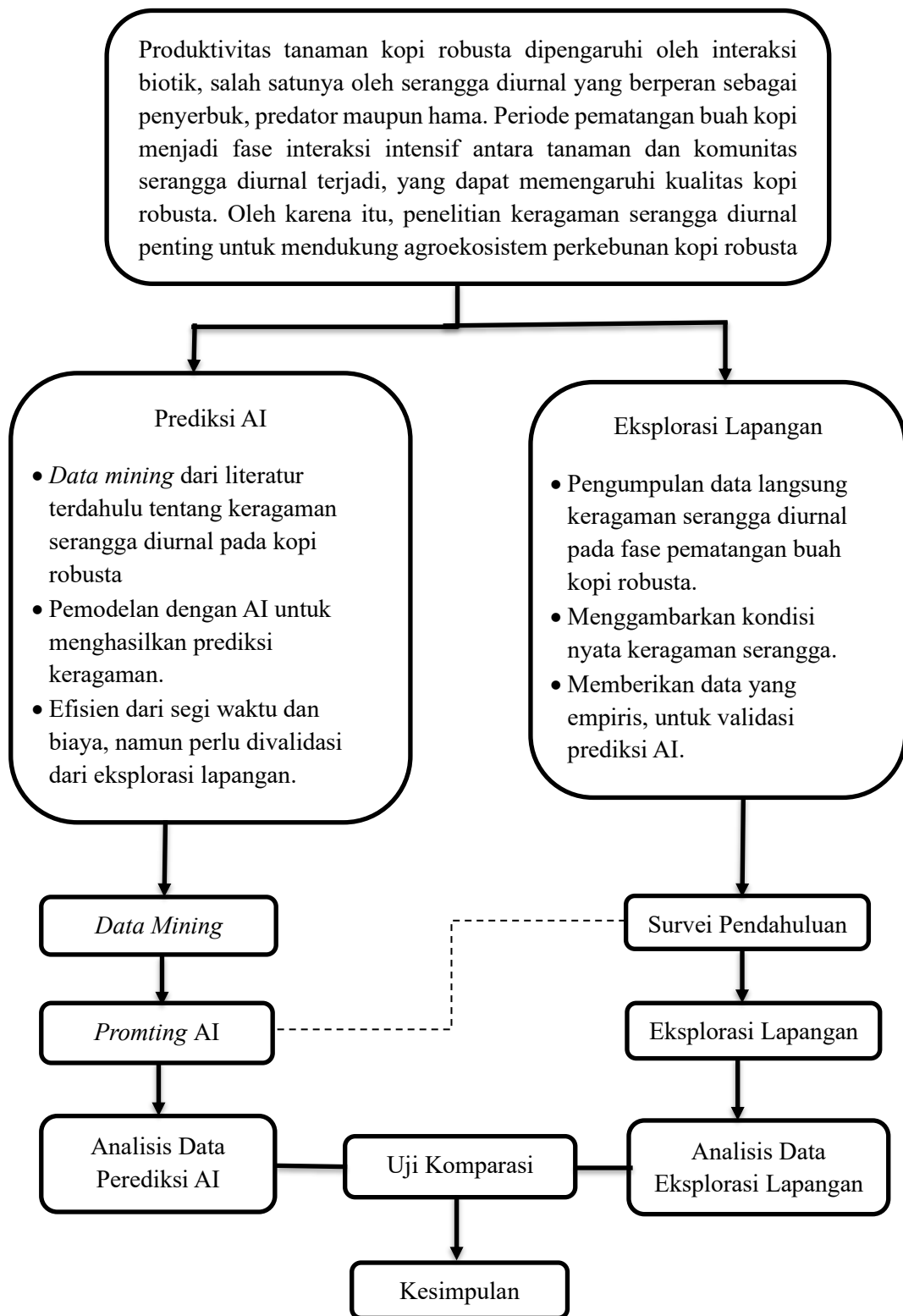
1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini diharapkan berkontribusi pada penerapan pemodelan AI berdasarkan *data mining* dari literatur sebagai metode memprediksi keanekaragaman serangga.
2. Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya informasi mengenai serangga diurnal pada tanaman kopi robusta pada fase pematangan buah.
3. Penelitian ini diharapkan memberikan rekomendasi mengenai efektivitas pemanfaatan AI dalam memodelkan Prediksi keragaman serangga diurnal di perkebunan kopi robusta.

1.5. Kerangka Berpikir

Adapun kerangka berpikir pada penelitian ini dapat digambarkan dalam bentuk diagram sebagai berikut:



Gambar 1. Kerangka berpikir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Serangga

2.1.1 Pengertian Serangga

Serangga merupakan spesies hewan yang paling banyak di bumi, lebih dari 80% dari semua hewan di bumi merupakan spesies serangga, yang menjadikannya kategori hewan yang paling dominan (Washliyah dkk., 2024). Indonesia merupakan rumah bagi lebih dari 250.000 dari sekitar 751.000 spesies yang dikenal (Meilin & Nasamsir, 2016). Serangga merupakan spesies yang sangat penting bagi lingkungan. Serangga berperan sebagai parasitoid, penyerbuk, pengurai, dan predator di lingkungan. Populasi serangga di suatu wilayah dapat menjadi representasi kesehatan ekologi, keanekaragaman hayati, dan degradasi (Taradipha *et al.*, 2019). Sejak kemunculannya sekitar 396 juta tahun yang lalu, serangga telah berperan penting dalam berbagai aspek kehidupan, mencakup industri, pertanian, perikanan, peternakan, seni, budaya, hingga peradaban manusia. Dalam ekosistem pertanian (agroekosistem) yang dikelola manusia, keberadaan serangga sangat penting dalam mendukung produksi pangan dan menjaga keseimbangan ekosistem (Herlinda *et al.*, 2021).

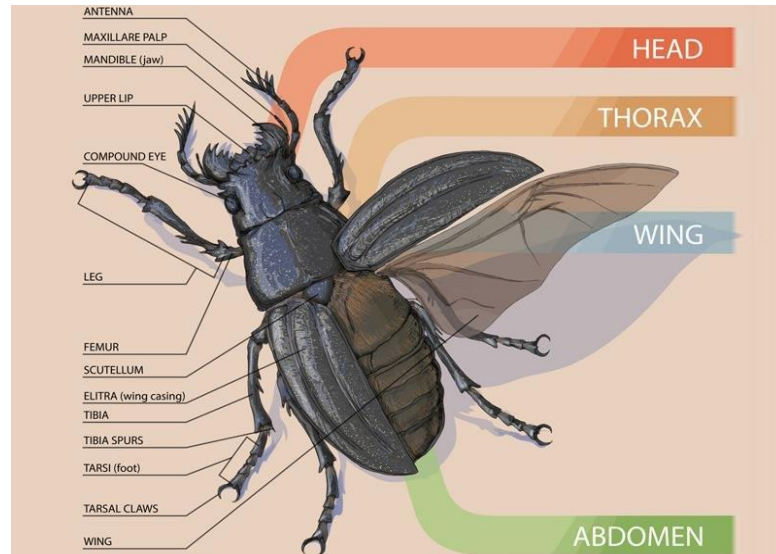
Insekta atau Heksapoda adalah sebutan lain untuk serangga. Istilah *Insecta* berasal dari bahasa Latin *insectum*, yang diturunkan dari kata kerja *insecare* yang berarti memotong atau membelah. Nama ini menggambarkan tubuh serangga yang tersegmentasi menjadi beberapa bagian. Sementara itu, istilah *Hexapoda* berasal dari bahasa Yunani *hexa* enam dan *pous/podos* kaki, yang berarti berkaki enam (Pracaya,

2009). Penemuan fosil yang berasal dari era *Ordovisium* menunjukkan bahwa serangga merupakan organisme bersegmen dengan tingkat adaptasi yang sangat tinggi. Fosil serangga purba, termasuk kecoak dan capung raksasa, serta spesies Diptera lainnya, termasuk lalat dan nyamuk, telah ditemukan dalam getah pohon. Serangga juga dianggap sebagai contoh khas dari proses metamorfosis, di mana setiap individu berevolusi dari telur, larva, atau nimfa menjadi dewasa (Djoewari, 2020).

2.1.2 Morfologi Serangga

Serangga terdiri dari tiga bagian utama tubuh yang meliputi abdomen (perut), *thorax* (dada), dan kepala (kepala). Tiga segmen membentuk *thorax*, enam segmen membentuk kepala, dan bagian yang tersisa membentuk abdomen. Struktur seperti bagian depan, *clipeus*, *vertex*, *gena*, *oksiput*, bagian mulut, mata majemuk, mata tunggal (*ocelli*), *postgena*, dan antena dapat diidentifikasi di bagian depan kepala (*frontal*) jika dilihat dari samping (*lateral*). *Prothorax*, *mesothorax*, dan *metathorax* adalah tiga komponen yang membentuk *thorax*. Area dinding tubuh antara *pleura* dan *nota* pada sisi *dorso-lateral* merupakan tempat berkembangnya sayap serangga. Serangga biasanya memiliki dua pasang sayap yang terhubung dengan segmen *mesothoraks* dan *metathoraks*. Pola pada permukaan sayap sangat membantu dalam mengidentifikasi spesies (Hadi *et al.*, 2009).

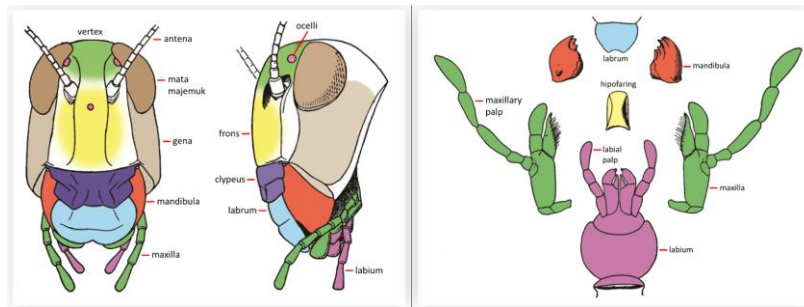
Tubuh serangga terbagi menjadi 20 segmen. Tiga segmen membentuk toraks, sebelas segmen membentuk abdomen, dan enam segmen yang digabungkan membentuk kepala. *Eksoskeleton*, atau dinding tubuh yang kaku, berfungsi sebagai rangka luar serangga. Dinding tubuh serangga dikenal dengan istilah *integumen*. *Integumen* terdiri dari membran dasar, kutikula, dan satu lapisan epidermis, yang dapat membentuk lapisan luar yang keras (Gambar 2) (Jumar, 2000).



Gambar 2. Morfologi Serangga (Sophany *et al.*, 2019).

A. Kepala (*Caput*)

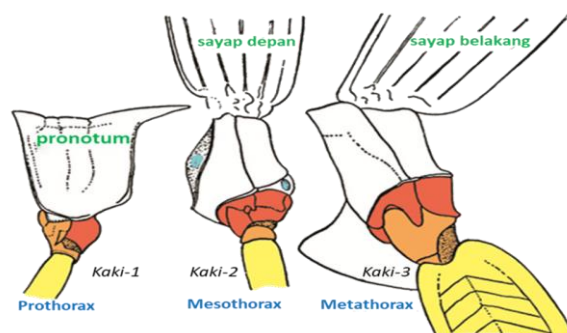
Kepala serangga umumnya berbentuk seperti kotak dan dilengkapi struktur utama berupa mulut, sepasang antena, mata majemuk, dan mata tunggal (*ocelli*). Permukaan kepalanya memiliki berbagai bukaan untuk perlekatan otot serta, pada beberapa spesies, saluran arteri dorsal. Secara anatomi, kepala tersusun atas 3–7 segmen yang telah menyatu melalui proses sklerotisasi, sehingga membentuk kapsul kepala yang kuat. Kepala berfungsi sebagai pusat penerimaan rangsangan sensorik, pengolahan informasi, serta pengambilan dan pemrosesan makanan. Secara morfologis, bagian-bagian kepala meliputi *vertex* (bagian atas), *gena* (sisi/pipi), *frons* (bagian depan), dan *clypeus* (bagian bawah *frons*) (Gambar 3). Struktur-struktur ini dapat mengalami modifikasi atau tidak tampak pada kelompok serangga tertentu. Serangga dewasa memiliki dua tipe mata, yaitu mata majemuk yang tersusun atas sejumlah *ommatidia* dan mata tunggal (*ocelli*), di mana jumlah dan posisi *ocelli* sering menjadi karakter penting dalam identifikasi taksonomi (Jumar, 2000).



Gambar 3. Morfologi Kepala (*Caput*) (Khurota, A. 2021).

B. Dada (*Thorax*)

Toraks merupakan bagian tengah tubuh yang terhubung ke kepala oleh struktur leher yang dikenal sebagai serviks. Bagiannya terdiri dari tiga segmen utama, yaitu *Protoraks*, *mesotoraks*, dan *metatoraks*. Tiga pasang kaki, satu di setiap segmen, melekat pada toraks. Pada serangga bersayap sepasang sayap biasanya tumbuh dari *metatoraks* dan *mesotoraks*. Sayap-sayap ini terdiri dari dua lapisan tipis kitin yang meliputi permukaan atas dan bawah, hanya tumbuh sepenuhnya dan berfungsi selama fase dewasa. Gabungan antara *mesotoraks* dan *metatoraks* dikenal sebagai *pterotoraks*, yaitu bagian tubuh yang kuat dan menjadi pusat aktivitas gerak, terutama dalam terbang (Gambar 4) (Hadi, 2009).

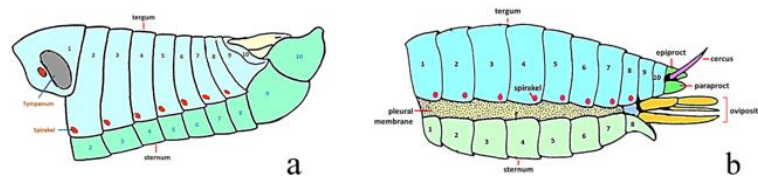


Gambar 4. Morfologi Dada (*Thorax*) (Khurota, A. 2021).

C. Perut (*Abodomen*)

Abdomen serangga umumnya terdiri atas 11–12 ruas (segmen) yang tidak memiliki tungkai, berbeda dengan toraks. Pada ruas ke-11 terdapat organ tambahan berupa *cercus* (jamak: *cerci*),

sedangkan ruas ke-12 yang dikenal sebagai *telson* atau *periproct* merupakan tempat keluarnya anus. Alat reproduksi betina terletak pada ruas ke-7 dan ke-8, sedangkan alat reproduksi jantan berada pada bagian posterior ruas ke-9. Banyak serangga betina juga memiliki *ovipositor* di ujung abdomen yang berfungsi sebagai alat peletak telur. Pada beberapa kelompok, seperti Orthoptera, bagian lateral ruas pertama abdomen dilengkapi struktur menyerupai bukaan besar yang disebut *timpana*, yang berfungsi sebagai organ pendengaran (Jumar, 2000). *Spirakel* pertama terletak di bagian anterior *timpana*, sedangkan *spirakel* lainnya tersebar berpasangan pada ruas kedua hingga kedelapan abdomen, tepat di bawah lempeng punggung (*tergum*), dan berperan dalam proses respirasi (Gambar 5) (Pracaya, 2009).

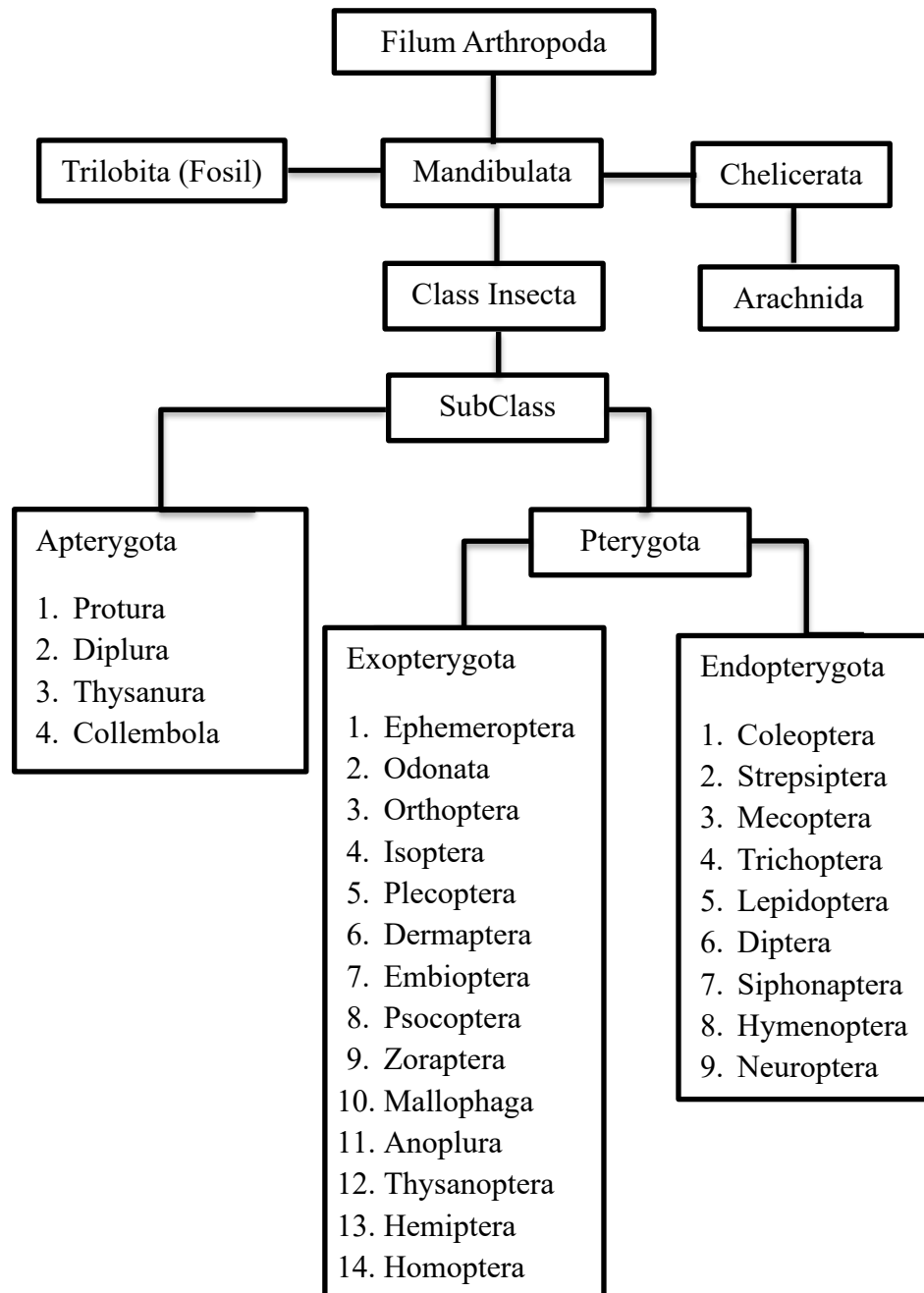


Gambar 5. Perut (*Abdomen*) a (Jantan) dan b (Betina) (Khurota, A. 2021).

2.1.3 Klasifikasi Serangga

Serangga tergolong dalam filum Arthropoda. Istilah *arthropoda* berasal dari bahasa Yunani, yaitu *arthro* yang berarti ruas dan *poda* yang berarti kaki. Dengan demikian, Arthropoda merupakan kelompok hewan yang memiliki ciri khas berupa kaki yang beruas-ruas (Borror *et al.*, 1996). Filum Arthropoda terbagi menjadi tiga subfilum, yaitu *Trilobita*, *Mandibulata*, dan *Chelicerata*. Subfilum *Mandibulata* terdiri atas 6 kelas, salah satunya adalah Insekta (*Hexapoda*). Sementara itu, subfilum *Chelicerata* mencakup 3 kelas, sedangkan subfilum *Trilobita* sudah punah. Kelas *Hexapoda* terbagi menjadi 2 subkelas, yakni *Apterygota* dan *Pterygota*. Subkelas *Apterygota* mencakup 4 ordo, sedangkan subkelas *Pterygota* dibagi lagi menjadi 2 kelompok, yaitu

Exopterygota (dengan metamorfosis sederhana) yang terdiri dari 15 ordo, dan *Endopterygota* (dengan metamorfosis sempurna) yang terdiri dari 3 ordo (Gambar 6) (Hadi, 2009).



Gambar 6. Klasifikasi Serangga (Hadi, 2009).

2.1.4 Siklus Hidup Serangga

Siklus hidup serangga merupakan rangkaian perubahan yang terjadi sejak menetas dari telur hingga mencapai fase dewasa. Perubahan ini berlangsung melalui beberapa tahap perkembangan yang berbeda-beda sesuai dengan jenis serangganya (Nuryani dkk., 2023). Metamorfosis pada serangga dapat diklasifikasikan ke dalam empat tipe, yaitu tanpa metamorfosis (*ametabola*), metamorfosis bertahap (*paurometabola*), metamorfosis tidak sempurna (*hemimetabola*), serta metamorfosis sempurna (*holometabola*) (Jumar, 2000).

a. Tanpa metamorfosis (*ametabola*)

Serangga *ametabola* pada prosesnya serangga muda yang baru menetas dari telur memiliki bentuk tubuh yang hampir sama dengan serangga dewasa, hanya berbeda pada ukuran dan organ reproduksi yang belum matang. Sepanjang pertumbuhannya, perubahan yang terjadi terutama berupa pembesaran tubuh melalui proses pergantian kulit (*molting*). Serangga *ametabola* juga tidak memiliki sayap, baik pada fase muda maupun dewasa, sehingga sering disebut sebagai serangga bersayap primitif. Kelompok yang termasuk dalam tipe perkembangan ini antara lain *Zygentoma* (misalnya *Lepisma saccharina* atau kutu buku/*silverfish*) (Triplehorn, & Johnson, 2005).

b. Metamorfosis bertahap (*paurometabola*)

Tipe *paurometabola* memiliki bentuk serangga pradewasa umumnya mirip dengan serangga dewasa, namun mengalami perubahan secara bertahap. Perubahan tersebut meliputi perkembangan bakal sayap, munculnya calon organ kelamin pada instar yang lebih tua, serta peningkatan ukuran tubuh. Serangga dengan pola perkembangan ini termasuk dalam ordo Orthoptera, Isoptera, Thysanoptera, Hemiptera, Homoptera, Anoplura, Neuroptera, dan Dermaptera (Jumar, 2000).

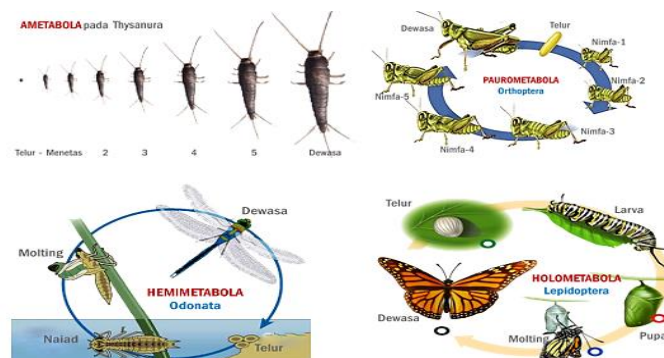
c. Metamorfosis tidak sempurna (*hemimetabola*)

Pola perkembangan serangga hemimetabola lebih sederhana karena tidak melalui tahap pupa. Serangga muda atau nimfa biasanya menyerupai bentuk dewasa, hanya berbeda pada ukuran tubuh dan ketiadaan sayap serta organ reproduksi yang belum matang.

Pertumbuhan menuju fase dewasa berlangsung melalui beberapa kali pergantian kulit (molting) hingga serangga mencapai ukuran dan bentuk sempurna. Contoh serangga dengan metamorfosis tidak sempurna meliputi belalang, jangkrik, dan kutu (Nuryani dkk., 2023).

d. Metamorfosis sempurna (*holometabola*)

Proses metamorfosis *holometabola* melibatkan empat tahap, yaitu telur, larva, pupa, dan imago (dewasa). Tahap larva biasanya sangat berbeda dengan bentuk dewasa, serta berfungsi utama untuk makan dan menyimpan energi. Selanjutnya, larva memasuki fase pupa, yaitu tahap transisi ketika organ-organ tubuh mengalami reorganisasi total dan membentuk struktur baru. Pada beberapa spesies, pupa dilindungi oleh kokon atau kepompong. Setelah fase ini, muncullah serangga dewasa (imago) yang memiliki bentuk tubuh, organ, dan peran ekologi berbeda dari larva. Contoh serangga yang mengalami metamorfosis sempurna antara lain kupu-kupu, ngengat, lalat, semut, dan lebah (Nuryani dkk., 2023). Siklus hidup serangga dapat dilihat pada (Gambar 7).



Gambar 7. Tipe Siklus Hidup Serangga (Politanikoe 2017).

2.1.5 Faktor Keragaman Serangga

Keberagaman serangga banyak dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik internal (*intrinsic factors*) maupun eksternal (*environmental factors*) dewasa (Begon *et al.*, 1986). faktor internal merupakan faktor yang berasal dari dalam tubuh serangga itu sendiri yang meliputi siklus hidup serangga, masa dewasanya, rasio jenis kelamin, sifat reproduksi, dan kemampuan pertahanan hidup. Sementara itu, faktor eksternal adalah faktor lingkungan yang memengaruhi serangga dari luar tubuhnya. Faktor eksternal ini terbagi menjadi tiga kelompok utama: faktor fisik, faktor biotik, dan faktor nutrisi. Faktor fisik meliputi suhu, kelembapan atau curah hujan, cahaya, warna, bau, dan angin. Faktor biotik berkaitan dengan interaksi dengan organisme lain, seperti predator, parasitoid, patogen, dan bentuk kompetisi, baik intraspesifik maupun interspesifik. Faktor nutrisi ditentukan oleh ketersediaan pangan, baik kualitas maupun kuantitasnya (Price, 1999).

Lingkungan memiliki peran penting dalam menentukan keberadaan serangga di suatu ekosistem, karena setiap komponen lingkungan dapat mempengaruhi distribusi, kelimpahan, serta dinamika populasi serangga (Taradipha *et al.*, 2019). Ketika Suatu ekosistem didominasi oleh faktor pengendali fisik maupun kimia yang bersifat membatasi, maka tingkat keanekaragaman serangganya cenderung rendah. Sebaliknya, ekosistem yang lebih seimbang dan dikendalikan oleh mekanisme alami umumnya menunjukkan keanekaragaman serangga yang lebih tinggi (Basna dkk., 2017).

a. Faktor Biotik

Faktor biotik merupakan salah satu komponen penting yang memengaruhi keanekaragaman serangga melalui berbagai bentuk interaksi antarspesies dalam ekosistem. Interaksi tersebut dapat bersifat positif, netral, atau negatif, tergantung pada pengaruhnya terhadap kelangsungan hidup masing-masing spesies. Dua jenis

interaksi yang umum terjadi adalah kompetisi dan predasi. Kompetisi muncul ketika dua atau lebih spesies memanfaatkan sumber daya yang sama, seperti nutrisi, air, tempat bertelur, atau ruang aktivitas. Intensitas kompetisi akan meningkat ketika sumber daya terbatas, sedangkan pada kondisi sumber daya melimpah, kolonisasi baru dapat terjadi yang kemudian mengurangi ketersediaan sumber daya tersebut. Sementara itu, predasi menggambarkan interaksi ketika satu organisme membunuh dan mengonsumsi organisme lain. Interaksi ini serupa dengan parasitisme karena menguntungkan predator namun merugikan mangsa (Schowalter, 2006).

b. Faktor Abiotik

Faktor abiotik merupakan komponen lingkungan yang sangat memengaruhi kehidupan dan keragaman serangga. Suhu menjadi salah satu faktor utama, di mana peningkatan suhu lingkungan akan mempercepat metabolisme, pertumbuhan, dan perkembangan serangga. Setiap spesies memiliki toleransi suhu berbeda, ada yang mampu hidup pada rentang suhu luas (*eurythermal*) dan ada yang hanya bertahan pada rentang sempit (*stenothermal*). Pada kisaran suhu ekstrem, serangga tidak dapat bertahan, sedangkan pada suhu optimum serangga mampu hidup dan berkembang dengan baik (Odum, 1971).

pH tanah juga memengaruhi keberlangsungan hidup serangga tanah, karena setiap spesies memiliki toleransi yang berbeda. Serangga yang hidup pada tanah asam disebut *asidofil*, yang hidup di tanah basa disebut *kalsinofil*, sementara yang mampu beradaptasi pada kedua kondisi tersebut termasuk golongan *netrofil* (Husamah, 2017). Faktor kelembaban dan curah hujan turut berpengaruh, di mana kondisi lembap cenderung mendukung perkembangan serangga hama gudang, sedangkan curah hujan tinggi dapat menurunkan

populasi serangga melalui pencucian telur, larva, nimfa, maupun pupa di tanah (Aggraini dkk., 2021).

Cahaya juga menjadi faktor penting, karena beberapa serangga bersifat nokturnal dan tertarik pada cahaya buatan seperti lampu perangkap, sementara serangga diurnal lebih aktif di siang hari dan biasanya merespons warna tertentu, misalnya kuning dan putih (Zhang *et al.*, 2021). Faktor abiotik lainnya adalah angin, yang dapat memengaruhi pola penyebaran serangga. Serangga kecil seperti kutu daun mudah terbawa angin dalam jarak jauh, sementara serangga lain cenderung melawan arah angin untuk menemukan inang berdasarkan sinyal aroma yang terbawa udara (Aggraini dkk., 2021).

2.1.6 Peran Serangga

Serangga dapat memberikan dampak yang bersifat menguntungkan maupun merugikan bagi manusia, tergantung pada jenis dan perannya dalam ekosistem. Serangga memiliki kedudukan penting dalam berbagai aspek kehidupan manusia, mulai dari bidang pertanian, perikanan, peternakan, dan industri. Peran serangga sangat nyata dan memberikan manfaat langsung bagi keberlangsungan produksi pangan, pemeliharaan lingkungan, serta pengembangan hasil-hasil bernilai ekonomi (Herlinda dkk., 2021). Dalam bidang pertanian, serangga memiliki berbagai peran, baik sebagai fitofag, predator, parasitoid, vektor penyakit tumbuhan, maupun penyerbuk (Herlinda *et al.*, 2020).

a. Serangga Fitofag

Serangga fitofag akan dikategorikan sebagai hama apabila tingkat kerusakan yang ditimbulkannya sudah menimbulkan kerugian secara ekonomis. Beberapa spesies yang tergolong hama penting di antaranya adalah wereng batang cokelat (*Nilaparvata lugens*) yang menyerang tanaman padi (Herlinda dkk., 2019), lalat buah cabai (*Bactrocera dorsalis*), serta *Spodoptera frugiperda* dan *Nezara*

viridula (Pujiastuti dkk., 2020). Pada komoditas kopi, hama yang paling merugikan adalah penggerek buah kopi (*Hypothenemus hampei*). Serangga ini berperan sebagai perusak utama karena betina dewasa menggerek masuk ke dalam buah kopi untuk meletakkan telur, kemudian larva yang menetas memakan biji kopi sehingga menurunkan kualitas dan kuantitas hasil panen (Praditya & Rahardjo, 2025).

b. Serangga Predator

Serangga predator memiliki peranan penting dalam menekan populasi serangga fitofag, baik yang sudah berstatus hama maupun yang masih berada pada tingkat populasi seimbang. Aktivitas pemangsaan umumnya dilakukan dengan cara menggigit dan mengunyah, atau menusuk serta mengisap tubuh mangsanya. Beberapa ordo yang banyak anggotanya berfungsi sebagai predator di antaranya Coleoptera, Odonata, Hymenoptera dan Hemiptera (Herlinda dkk., 2021).

c. Parasitoid

Parasitoid memiliki peranan penting dalam menekan populasi serangga fitofag. Kelompok ini merupakan serangga yang hidup dengan memarasit inangnya, biasanya dengan mengisap cairan tubuh serangga atau artropoda lain, hingga akhirnya menyebabkan kematian pada inang tersebut. Beberapa ordo yang banyak anggotanya berperan sebagai parasitoid antara lain Hymenoptera dan Diptera (Herlinda dkk., 2021).

d. Serangga Polinator

Serangga polinator memiliki kontribusi besar dalam proses penyerbukan, baik pada tanaman pertanian maupun tumbuhan liar. Diperkirakan lebih dari 90% tanaman tropis bergantung pada agen penyerbuk, dan sekitar dua pertiganya dilakukan oleh berbagai

spesies serangga (Siregar dkk., 2014). Hubungan timbal balik ini terjadi karena bunga menyediakan pakan berupa serbuk sari dan nektar, sementara serangga membantu proses penyerbukan yang menghasilkan pembuahan serta pembentukan biji sebagai sarana regenerasi tanaman. Jenis serangga yang dominan berperan sebagai polinator antara lain lebah madu dari ordo Hymenoptera dan kupu-kupu dari ordo Lepidoptera, yang pada fase imago sangat bergantung pada ketersediaan tumbuhan berbunga sebagai sumber makanan (Hadi dkk., 2009).

e. Serangga Dekomposer

Serangga dekomposer berperan penting dalam memakan organisme mati serta mempercepat proses penguraian, sehingga nutrisi dapat kembali ke lingkungan. Melalui aktivitas ini, unsur-unsur penting seperti karbon, air, dan nitrogen akan disirkulasikan kembali ke dalam ekosistem (Jumar, 2000). Beberapa ordo serangga yang banyak anggotanya berperan sebagai dekomposer antara lain Hymenoptera, Coleoptera, dan Diptera. Kehadiran serangga dari kelompok tersebut memungkinkan sisa-sisa organik lebih cepat terurai sehingga kembali menjadi materi yang dapat dimanfaatkan dalam keseimbangan alam (Suheriyanto, 2008).

2.1.7 Serangga Diurnal

Serangga diurnal merupakan organisme yang aktivitasnya lebih banyak di siang hari yang dipengaruhi oleh faktor internal seperti gen, fisiologi dan faktor lingkungan cahaya, suhu, kelembaban, kondisi habitat.

Menurut Li *et al.*, (2025) suhu dan waktu siang hari mempengaruhi intensitas kunjungan lebah madu ke bunga. Secara ekologis kontribusi serangga diurnal dalam penyerbukan tanaman jauh lebih dominan dibandingkan serangga nokturnal (Luo *et al.*, 2011). Variasi penggunaan

lahan juga mempengaruhi keragaman serangga diurnal pada suatu ekosistem (Sri dkk., 2024).

Pola aktivitas serangga yang dikendalikan oleh periodisitas endogen sebagian besar spesies diurnal menunjukkan ritme sirkadian yang teratur. Pada beberapa serangga diurnal, aktivitas harian dapat bersifat *unimodal*, dengan satu puncak di siang hari dalam kondisi cahaya dan suhu optimal. Namun, banyak spesies diurnal menunjukkan pola *bimodal*, dengan aktivitas terjadi di pagi dan sore hari, dan aktivitas menurun di siang hari karena suhu yang terlalu tinggi atau peningkatan risiko kekeringan. Hal tersebut menjelaskan mengapa banyak penyerbuk diurnal, seperti lebah dan kupu-kupu, lebih aktif selama kedua periode ini (Lau *et al.*, 2017). Menurut penelitian Johnson *et al.*, (2024) Perangkap pengatur waktu menunjukkan bahwa aktivitas terbang *Coffee Berry Borer* (CBB) (*Hypothenemus hampei*) mengikuti ritme harian yang jelas. Meskipun CBB dapat aktif sepanjang hari, aktivitas puncak terjadi sekitar pukul 12.00–16.00. ritme tersebut menunjukkan bahwa CBB merupakan hama dengan kecenderungan diurnal yang kuat selama fase pematangan buah kopi.

2.2 Kopi Robusta

Kopi termasuk dalam Genus *Coffea* dan Famili Rubiaceae yang berasal dari benua Afrika. Tanaman ini tumbuh tegak dengan percabangan, dapat mencapai tinggi hingga 12 meter, serta memiliki daun berbentuk oval dengan ujung yang meruncing Jenis kopi yang dibudidayakan di Indonesia meliputi kopi robusta (*C. canephora*), kopi arabika (*C. arabica*), kopi ekselsa (*C. excelsa*), serta kopi liberika (*C. liberica*) (Eskani dkk., 2020). Tanaman kopi pertama kali diperkenalkan ke Indonesia pada masa kolonial Belanda, dan hingga kini Indonesia berhasil menempati posisi sebagai salah satu produsen kopi utama dunia. Seiring perkembangannya, kopi kemudian dibudidayakan secara luas di berbagai provinsi. Namun, pada tahun 1900 terjadi serangan

penyakit karat daun (*coffee leaf rust*) yang menyerang kopi arabika (Gumulya & Helmi, 2017).

Bersamaan dengan munculnya penyakit tersebut, kopi robusta mulai diperkenalkan di Indonesia. Jenis kopi ini merupakan varietas terakhir yang dikembangkan oleh pemerintah kolonial Belanda, dan diketahui dapat tumbuh optimal pada ketinggian lebih dari 600–700 m dpl (Indrawanto dkk., 2010). Kopi Robusta atau *Coffea canephora* pertama kali ditemukan oleh seorang ahli botani asal Belgia di Kongo, Afrika, pada tahun 1898. Jenis kopi ini memiliki keunggulan berupa ketahanan terhadap hama dan penyakit serta kemampuan beradaptasi pada berbagai kondisi iklim dan cuaca. Di Indonesia kopi robusta merupakan varietas yang paling banyak dibudidayakan, menyumbang sekitar 81,87% dari total produksi kopi, sedangkan sisanya sebesar 18,13% berasal dari kopi arabika dan liberika. (BPS-Indonesia, 2018).

Berdasarkan sistem klasifikasi Cronquist (1981), tanaman kopi robusta dapat dikelompokkan mulai dari tingkat kingdom hingga spesies dengan klasifikasi sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisio	: Magnoliophyta
Classis	: Magnoliopsida
Ordo	: Rubiales
Family	: Rubiaceae
Genus	: <i>Coffea</i>
Species	: <i>Coffea canephora</i>

2.2.1 Morfologi Kopi Robusta

Kopi robusta (*Coffea canephora*) merupakan tanaman berkayu dengan bentuk berupa semak atau pohon kecil, memiliki batang utama yang kokoh dan bercabang, tempat tumbuhnya ranting-ranting horizontal dari

buku-buku batang yang berfungsi menopang organ vegetatif maupun generatif (Batista *et al.*, 2016).

a. Akar

Tanaman kopi termasuk kelompok dikotil yang memiliki sistem perakaran tunggang. Akar utamanya relatif dangkal karena sebagian besar menyebar pada lapisan tanah bagian atas, namun akar lateral berkembang luas sehingga meningkatkan kemampuan tanaman dalam menyerap air dan unsur hara dari lingkungan sekitarnya. Mayoritas akar tanaman kopi robusta (*Coffea canephora*) terkonsentrasi pada lapisan tanah bagian atas (0–20 cm), namun beberapa genotipe menunjukkan distribusi akar yang lebih dalam hingga kedalaman 30–60 cm, yang berkaitan dengan kemampuan adaptasi terhadap kondisi kekeringan (Silva *et al.*, 2020). Sistem perakaran tunggang pada kopi hanya berkembang bila tanaman berasal dari bibit semai atau sambung dengan batang bawah dari semaian. Sebaliknya, kopi yang diperbanyak melalui setek, cangkok, atau okulasi dengan batang bawah non-semi tidak membentuk akar tunggang (Rahardjo, 2012).

b. Batang

Batang kopi tumbuh secara tegak dan beruas-ruas. Kopi arabika kelompok *Typica* memiliki tajuk yang tinggi, mencapai 3,5–4 m, sedangkan kelompok *Catimor* bersifat katai dengan tinggi sekitar 2,5 m. Tinggi tanaman kopi robusta dapat mencapai 7–10 m. Tanaman yang dibiarkan tumbuh tinggi akan menyulitkan proses panen, sehingga biasanya batang utama dipangkas pada ketinggian 1–1,8 m dari permukaan tanah (Randriani & Dani, 2018). Batang kopi robusta berbentuk bulat dengan kulit kayu yang mudah mengelupas (Harnelly *et al.*, 2024).

Batang tanaman kopi menunjukkan variasi morfologi yang cukup mencolok antar aksesori. Warna batang berkisar dari coklat tua hingga

putih keabu-abuan, yang dipengaruhi oleh faktor varietas, umur tanaman, serta kondisi lingkungan seperti kelembapan dan intensitas cahaya. Struktur batang pada kopi beruas-ruas, tegak, dan berfungsi sebagai penopang utama bagi cabang-cabang serta organ vegetatif dan generatif tanaman. Variasi warna dan tekstur batang juga dapat menjadi indikator adaptasi tanaman terhadap lingkungan lokal, serta membantu dalam identifikasi genotip kopi yang berbeda (Unto dkk., 2025).

c. Cabang

Sistem percabangan pada tanaman kopi terdiri atas beberapa jenis cabang dengan sifat dan fungsi berbeda. Cabang reproduksi (*ortotrop*) tumbuh tegak lurus dari tunas reproduksi yang berada di ketiak daun batang utama, dan setiap ketiak daun memiliki 4–5 tunas yang dapat diperbarui jika cabang mati. Cabang primer (*plagiotrop*) muncul dari batang utama atau cabang reproduksi, dengan satu tunas per ketiak daun. Cabang sekunder berkembang dari cabang primer melalui tunas sekunder dan dapat menghasilkan bunga, mirip dengan cabang utama. Pada pohon yang sudah tua, cabang kipas muncul dari cabang primer yang tersisa berkembang menjadi cabang reproduksi tambahan. Cabang pecut merupakan cabang kipas yang tidak mampu membentuk cabang primer. Cabang balik adalah cabang reproduksi yang tumbuh dari cabang primer dengan arah ke dalam mahkota tajuk dan sifat pertumbuhan tidak normal, sedangkan cabang air ditandai dengan pertumbuhan cepat, ruas daun panjang dan lunak, serta kandungan air yang tinggi (Randriani & Dani, 2018).

d. Daun

Daun kopi memiliki bentuk lonjong dan tumbuh berselang-seling pada batang, cabang, serta ranting di ketiak daun. Warna daun dewasa umumnya hijau, sedangkan daun muda bisa berwarna hijau atau cokelat. Setiap daun terdiri dari tangkai daun (*petiol*) dan helai

daun (*lamina*). Ujung daun meruncing, sedangkan pangkal daun terpisah dan membentuk sudut tumpul di tempat pertemuan dengan tangkai daun (Randriani & Dani, 2018). Daun kopi robusta memiliki panjang sekitar 30 cm dengan lebar antara 8–15 cm. Daun tua cenderung berubah warna menjadi kekuningan hingga pirang, sedangkan daun dewasa biasanya berwarna hijau tua (Harnelly *et al.*, 2024). Menurut penelitian Pangestika *et al.*, (2021) menunjukkan bentuk daun kopi robusta tergantung ketinggian lokasi penanaman. Tekstur permukaan daun menunjukkan perbedaan, daun pada ketinggian lebih tinggi cenderung lebih tebal dan kasar dibandingkan daun yang tumbuh di dataran rendah.

e. Bunga

Bunga kopi tumbuh di ketiak daun dan tersusun dalam kelompok yang disebut bunga majemuk. Setiap ketiak daun memiliki sejumlah kuncup bunga yang terbatas, dengan tiap kelompok berisi 4–6 kuntum. Secara keseluruhan, setiap ketiak daun menghasilkan 8–18 kuntum, atau setiap buku batang dapat menghasilkan 16–32 kuntum bunga. Bunga kopi berukuran kecil, mahkotanya berwarna putih dengan aroma harum, sedangkan kelopakanya berwarna hijau dan menutupi bakal buah yang mengandung dua bakal biji. Benang sari terdiri dari 5–7 tangkai pendek. Saat bunga siap dibuahi, mahkota dan kelopak terbuka, memudahkan proses penyerbukan, dan selanjutnya bunga akan berkembang menjadi buah (Randriani & Dani, 2018).

Menurut penelitian Harnelly *et al.*, (2024) bunga kopi robusta tumbuh di ketiak daun dengan letak aksiler dan umumnya memiliki lima mahkota, lebih sedikit variasinya dibandingkan beberapa varietas arabika. Tabung mahkota bunga pada robusta, seperti pada varietas Lampung, berukuran sekitar 9,58 mm, lebih besar dibandingkan rata-rata tabung mahkota arabika. Selain itu, jumlah

dan ukuran bunga pada robusta cenderung lebih banyak dan lebih besar, karena tanaman ini merupakan penyerbuk silang, sehingga bunga berkembang lebih optimal untuk penyerbukan.

f. Buah

Buah kopi yang masih muda berwarna hijau muda, kemudian berubah menjadi hijau tua, dan saat matang berwarna kuning hingga merah atau merah hati. Daging buah yang matang kaya akan lendir dan senyawa glukosa sehingga rasanya manis. Buah kopi terdiri dari bagian luar dan biji, dengan daging buah tersusun atas tiga lapisan: kulit luar (*eksokarp*), lapisan daging (*mesokarp*), dan kulit tanduk (*endokarp*) yang tipis namun keras. Biasanya, setiap buah mengandung dua biji, meskipun kadang hanya satu biji atau bahkan tidak berbiji sama sekali (Randriani & Dani, 2018). Buah kopi robusta umumnya lebih kecil dibanding kopi arabika, berbentuk bulat hingga agak tidak beraturan. Warna buah matang pada varietas robusta, seperti Kopi Lampung, cenderung merah anggur, sedangkan varietas lain dapat menunjukkan variasi warna mulai dari coklat kemerahan hingga merah kehitaman. Ketebalan daging buah robusta bervariasi antar varietas, umumnya lebih tebal dibanding beberapa varietas arabika (Harnelly *et al.*, 2024).

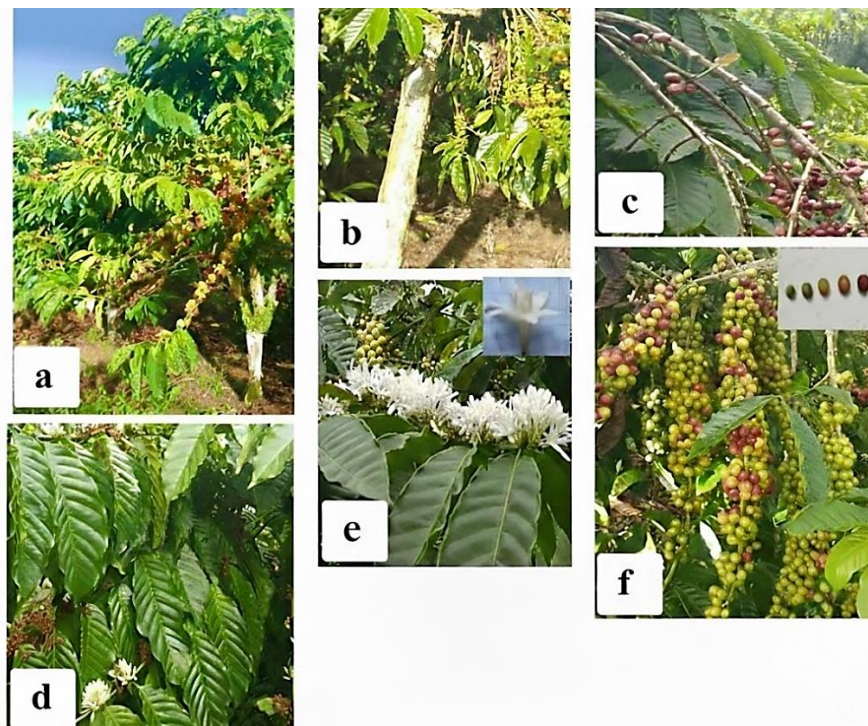
g. Biji

Kopi termasuk tumbuhan Angiospermae, yaitu tumbuhan dengan biji yang tertutup. Biji kopi terdiri dari dua lapisan utama yaitu lapisan luar (*testa*), yang keras dan berfungsi melindungi biji di dalamnya, serta lapisan dalam (*tegmen*), berupa membran tipis yang sering disebut kulit ari. Di dalam biji terdapat inti biji (*nucleus seminis*) yang terbagi menjadi dua bagian, yaitu lembaga (*embryo*) sebagai calon individu baru, dan putih lembaga (*albumen*) yang merupakan jaringan cadangan makanan untuk pertumbuhan kecambah.

Umumnya, setiap buah kopi mengandung dua biji yang memiliki

satu sisi datar (perut) dan satu sisi cembung (punggung) (Randriani & Dani, 2018).

Biji kopi robusta (*Coffea canephora*) berbentuk bulat dan umumnya lebih panjang serta lebih tebal dibanding biji kopi Arabika (Harnelly *et al.*, 2024). Secara karakteristik, biji kopi robusta memiliki bentuk yang lebih bulat dengan alur tengah yang relatif lurus, berbeda dengan biji Arabika yang cenderung berbentuk bulat telur dengan alur yang melengkung (Farah, 2012; Permatasari & Priambodo, 2024). Morfologi kopi robusta ditunjukkan pada (Gambar 8).



Gambar 8. (a) Morfologi kopi robusta; (b) batang; (c) cabang; (d) daun; (e) bunga; (f) buah (Dokumentasi Pribadi, 2025).

2.2.2 Fase Perkembangan Kopi

Perkembangan tanaman kopi terjadi melalui beberapa tahap fisiologis yang saling terkait. Perkembangan kopi dapat dibagi menjadi tiga tahap utama yaitu perkecambahan, vegetatif, dan generatif. Menurut Gustian dkk., (2024) pertumbuhan kopi dimulai dengan perkecambahan biji. Fase ini berlangsung relatif lama, sekitar 6 hingga 12 minggu, bervariasi sesuai dengan metode penanaman yang digunakan. Pada tahap ini, biji mulai membentuk radikula, yang berfungsi sebagai akar, diikuti dengan munculnya *plumula*, yang berfungsi sebagai batang. Tunas yang terbentuk selama fase ini dikenal sebagai *Soldat*, yaitu ketika kotiledon biji masih menempel pada tanaman muda.

Pertumbuhan vegetatif pada kopi merupakan berkembangnya struktur utama tanaman, seperti batang, cabang *ortotropik* dan *plagiotropik*, serta perkembangan daun, terbentuk. pertumbuhan vegetatif kopi robusta juga bersifat musiman, dipengaruhi oleh faktor iklim seperti suhu minimum dan curah hujan yang memengaruhi laju pertumbuhan cabang (Partelli *et al.*, 2010). Pertumbuhan cabang *ortotrop* dan *plagiotrop* sangat dipengaruhi dengan variasi curah air di mana tanaman dengan suplai air memadai menunjukkan perkembangan vegetatif yang lebih optimal (Covre *et al.*, 2016). Demikian pula organ daun juga mengalami tahap-tahap perkembangan krusial untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Daun kopi melewati serangkaian fase, dimulai dengan pembukaan awal, diikuti oleh perkembangan pesat, mencapai kapasitas fotosintesis maksimum, proses pengunduhan struktur, dan akhirnya memasuki masa penuaan (Klaipuk *et al.*, 2024).

Fase generatif pada kopi menandai transisi dari pertumbuhan vegetatif ke pertumbuhan reproduktif, tahapannya meliputi inisiasi pembungaan, pembentukan dan perkembangan bunga, pembuahan, pematangan buah, dan terakhir, panen. Setiap fase generatif berlangsung dalam durasi

yang bervariasi, tergantung pada spesies dan kondisi lingkungan (Salazar *et al.*, 2019). Proses pembungaan dipengaruhi oleh interaksi faktor genetik, lingkungan, dan manajemen budidaya. Variasi genetik antar genotipe kopi robusta menyebabkan perbedaan morfologi bunga, seperti panjang tabung mahkota, kepala putik, dan tangkai putik, yang berimplikasi pada sinkronisasi dan keberhasilan penyerbukan (Silva *et al.*, 2021).

Pembentukan buah kopi dimulai setelah penyerbukan dan berlanjut hingga pembuahan, ditandai dengan munculnya kuncup buah yang sangat kecil (*pinhead*). Fase generatif dalam pembentukan buah dianggap krusial karena berbagai faktor dapat menyebabkan *pinhead drop*, sehingga mengurangi tingkat keberhasilan pembentukan buah (Schmitt & Perfecto, 2020). Ketersediaan penyerbuk, terutama lebah atau serangga penyerbuk lainnya, dapat meningkatkan pembentukan buah (Klein *et al.*, 2003).

Setelah buah terbentuk masuk dalam fase pematangan buah kopi yang ditandai dengan perubahan fisiologis dan biokimia seperti perubahan warna, pelunakan kulit, peningkatan kadar gula, dan munculnya aroma khas. Selama fase pematangan buah senyawa pertahanan seperti fenolik menurun, sementara gula dan senyawa yang mudah dicerna meningkat, membuat buah lebih menarik bagi serangga (Osorio Pérez *et al.*, 2023). Lalat buah (*Bactrocera spp.*) memanfaatkan fase ini untuk bertelur dan memberi makan larvanya, yang menunjukkan ekspresi gen detoksifikasi yang lebih tinggi dibandingkan buah hijau sebagai adaptasi terhadap senyawa pertahanan yang tersisa.

2.2.3 Perkebunan Kopi

Menurut data *International Coffee Organization* (ICO) tahun 2018, lima negara penghasil kopi terbesar di dunia adalah Brasil, Vietnam,

Kolombia, Indonesia, dan Etiopia. Komoditas ini menyediakan mata pencaharian bagi sekitar 25 juta petani kecil di seluruh dunia (Randriani & Dani, 2018). Luas lahan perkebunan kopi Indonesia meningkat sekitar 918 hektare pada tahun 2023. Angka ini menunjukkan peningkatan dari 1.265.930 ha pada tahun 2022 menjadi 1.266.850 ha pada tahun 2023 (BPS-Indonesia, 2024). Perkebunan kopi di Indonesia terbagi menjadi dua kelompok yaitu Perkebunan Besar, yang mencakup perkebunan milik negara dan swasta (PBN/PBS), dan Perkebunan Rakyat (PR). Dari keduanya Perkebunan Rakyat mencakup area terluas dan menyumbang produksi kopi tertinggi di Indonesia (BPS-Indonesia, 2024).

Pada tahun 2022 produksi kopi di Indonesia diperkirakan mencapai 793.193 ton, di mana sekitar 79,47% dari total produksi berasal dari varietas kopi Robusta (Kementerian Pertanian, 2022). Provinsi Lampung merupakan penghasil kopi robusta terbesar kedua di Indonesia setelah Sumatera Selatan yang menyumbang 21,28% dari total produksi nasional (Kementerian Pertanian, 2022). Produktivitas kopi di Lampung dalam 15 tahun terakhir menunjukkan fluktuasi dengan tren negatif sebesar -0,50% antara tahun 2007 dan 2021. Pada tahun 2021, rata-rata produktivitas tercatat menurun menjadi 834 kg/ha dari 838 kg/ha pada tahun sebelumnya (BPS-Indonesia, 2021). Untuk mengatasi permasalahan ini, program pertanian kontrak telah dijalankan sejak tahun 1995, dan masih berlanjut hingga saat ini. Kemitraan ini, yang dipelopori oleh perusahaan swasta seperti Nestlé, Louis Dreyfus Company, dan Olam International, telah mendorong transformasi sistem budidaya kopi untuk lebih berfokus pada peningkatan produksi, kualitas hasil panen, dan keberlanjutan lingkungan (Basri *et al.*, 2024).

Kabupaten Pesawaran merupakan salah satu pengembangan kopi robusta di Provinsi Lampung. Hasil evaluasi lahan Kecamatan Padang Pesawaran Cermin menunjukkan bahwa lahan di wilayah ini tergolong

cukup sesuai untuk budidaya kopi robusta, dengan faktor pembatas utama berupa kondisi suhu (Zenda dkk., 2013).

2.3 Kecerdasan Buatan

2.3.1 Perkembangan Kecerdasan Buatan

Perkembangan kecerdasan buatan berawal dari gagasan penulis fiksi ilmiah Isaac Asimov (1942), yang memperkenalkan Tiga Hukum Robotika dalam cerpennya *Runaround*. Pada masa yang sama, Alan Turing mengembangkan mesin pemecah kode *The Bombe* (1940-an) dan kemudian mengusulkan konsep Uji Turing (1950) sebagai tolok ukur kecerdasan mesin (Turing, 1950) (Haenlein & Kaplan, 2019). Istilah *Artificial Intelligen* (AI) secara resmi diperkenalkan pada Konferensi Dartmouth (1956) oleh John McCarthy dan Marvin Minsky, yang dianggap sebagai tempat lahirnya KB sebagai suatu disiplin ilmu. Periode awal ini ditandai dengan berbagai terobosan, seperti program ELIZA Weizenbaum (1966), yang dapat melakukan percakapan sederhana, dan *General Problem Solver* Newell & Simon (1957), yang dirancang untuk memecahkan masalah logistik (Haenlein & Kaplan, 2019).

Sejarah AI tidak dapat dipahami hanya sebagai serangkaian pencapaian teknis dari momen-momen akademis tertentu. AI kontemporer, termasuk sistem seperti ChatGPT dan teknologi seni generatif, beroperasi melalui proses *pastiche*, yaitu rekonstruksi data dan infrastruktur yang ada, yang sering kali menghasilkan pola berulang atau mencerminkan *stereotip*. Kekuatan AI modern juga sangat bergantung pada internet, yang sejak awal dibingkai sebagai ruang bersama, tetapi dalam praktiknya telah membuka peluang untuk kontrol dan eksploitasi terpusat atas karya kreatif, akademis, dan artistik (Ali *et al.*, 2023).

Perkembangan AI telah memberikan dampak dalam berbagai bidang, salah satunya di bidang ekologi dan konservasi. Aplikasi AI terbatas pada analisis data sederhana namun sekarang sudah berkembang pesat dengan memanfaatkan *machine learning* (ML) dan *deep learning* untuk memahami pola kompleks dalam sistem biologis. Seperti model *machine learning* digunakan untuk memprediksi ancaman terhadap spesies dan mengembangkan strategi konservasi berbasis data (Branco *et al.*, 2023). AI dapat digunakan dalam pemodelan habitat dan distribusi spesies. Algoritma seperti *random forest* dan *Bayesian models* telah terbukti memberikan prediksi yang lebih akurat dari pada pendekatan tradisional, bahkan di area dengan data lapangan terbatas (Frazier & Song, 2024).

2.3.2 ChatGPT

ChatGPT merupakan model *Artificial Intelligence Generated Content* (AIGC) yang dikembangkan oleh OpenAI dan berbasis arsitektur *Generative Pretrained Transformer* (GPT). Model ini dirancang untuk menyelesaikan berbagai tugas Pemrosesan Bahasa Alami (NLP), seperti pemahaman konteks, pembuatan teks, penerjemahan, dan meringkas informasi menjadi percakapan yang koheren. Sejak peluncuran publiknya pada akhir tahun 2022, Chat GPT telah menjadi salah satu contoh paling representatif dari *Large Language Model* (LLM), sebuah model *machine learning* skala besar yang mampu memproses dan menghasilkan teks secara otomatis (Wu *et al.*, 2023).

Pengembangan ChatGPT tidak terlepas dari inovasi dalam *Generative Pre-trained Transformer* (GPT) yang dikembangkan oleh OpenAI. Model ini dibangun di atas arsitektur jaringan saraf berbasis pembelajaran mendalam yang memungkinkan pemrosesan bahasa alami yang lebih koheren dan bermakna (Rahaman *et al.*, 2023). ChatGPT berevolusi dari model *Generative Pretrained Transformer* (GPT),

dengan versi awal seperti GPT-1 dan GPT-2 yang berfungsi sebagai fondasi utama untuk representasi tekstual generatif. Versi berikutnya, GPT-3, menjadi lompatan peningkatan parameter dan data pelatihan, yang memungkinkannya menghasilkan teks yang lebih kontekstual dan generatif (Liu, 2024). Perkembangan terbaru GPT-4 dan varian seperti versi ChatGPT Plus/Turbo menambahkan dimensi kemampuan dalam akurasi, kecepatan respons, dan kemampuan pemrosesan teks, gambar, masukan visual, yang mengatasi beberapa keterbatasan yang ditemukan pada versi sebelumnya (Kalyan, 2024). Hingga saat ini, ChatGPT telah mencapai pengembangan terbaru pada versi ChatGPT-5.1, yang semakin mengoptimalkan performa model dalam pemahaman konteks, penalaran, dan kualitas keluaran (OpenAI, 2025).

2.3.3 Kemampuan ChatGPT

ChatGPT menjadi model *Large Language Model* (LLM) yang paling menonjol berkat kemampuannya dalam menyelesaikan *Natural Language Processing* (NLP). Evaluasi komprehensif terhadap lebih dari 140 kumpulan data akademis menunjukkan bahwa ChatGPT mampu menangani tugas-tugas seperti tanya jawab, peringkasan teks, penerjemahan, dan pemecahan masalah dengan hasil yang kompetitif, meskipun kinerjanya bervariasi di seluruh domain (Laskar *et al.*, 2023). Menurut penelitian Bang *et al.*, (2023) yang menguji performa ChatGPT dalam multibahasa dan multimoda, menyoroti kekuatan dalam interaksi dan penalaran, tetapi juga mencatat keterbatasan berupa *hallucination* atau kecenderungan untuk menghasilkan informasi yang tidak akurat.

Penelitian yang dilakukan de Pedro Noriega *et al.*, (2025) ChatGPT mampu menghasilkan prediksi yang koheren terkait distribusi spesies, namun masih dipengaruhi oleh bias taksonomi maupun geografis. ChatGPT cenderung menyoroti mamalia dan burung secara berlebihan,

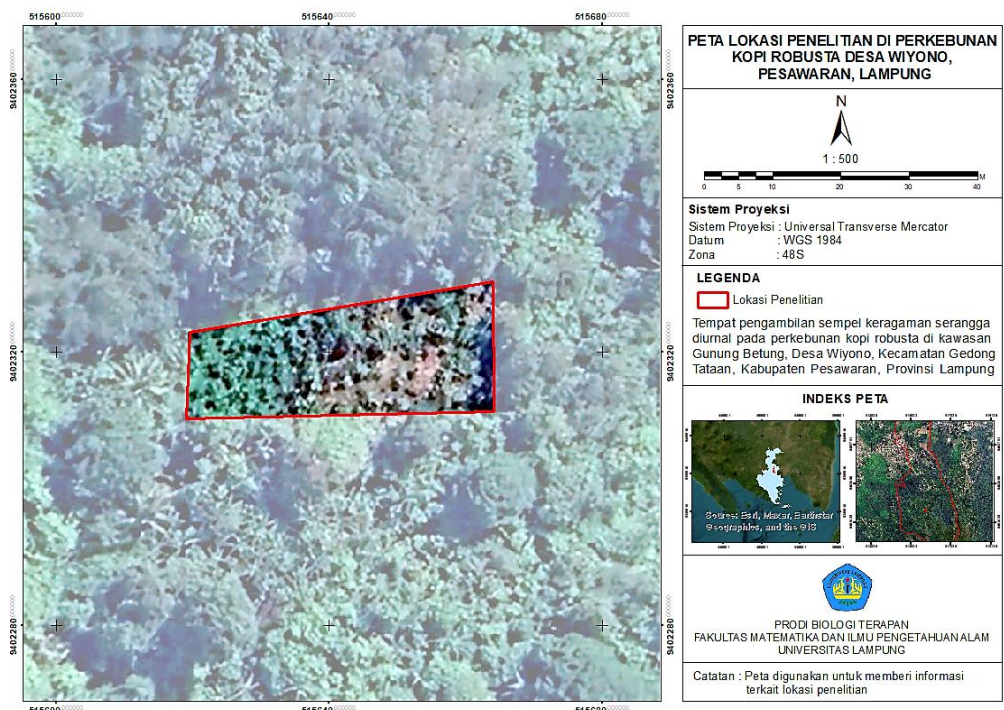
sementara kelompok lain seperti serangga, jamur, dan tumbuhan kurang terwakili. Dari sisi geografis, prediksi ChatGPT lebih banyak menekankan spesies dari Eropa dan Amerika Utara, sedangkan kawasan Afrika, Asia, dan Amerika Tengah relatif jarang muncul dalam hasil prediksi. ChatGPT perlu penyempurnaan dengan basis data ilmiah yang lebih representatif agar prediksi yang dihasilkan dapat diinterpretasikan secara kritis .

Penggunaan ChatGPT memerlukan perintah atau melalui penyusunan instruksi (*prompt*) yang tepat, pengguna dapat mengarahkan sistem untuk menghasilkan keluaran yang relevan, konsisten, dan sesuai dengan kebutuhan (Shin *et al.*, 2025). Menurut Chang, (2023) pendekatan *Socratic prompting* dapat mendorong ChatGPT untuk menghasilkan jawaban yang lebih kritis, reflektif, dan mendekati pola penalaran manusia yang menjadikan variasi dalam strategi *prompting* dapat meningkatkan kualitas prediksi dan respons. Penelitian (Potočnik *et al.*, 2025) menunjukkan bahwa ChatGPT memiliki kemampuan untuk memahami data klinis dan memberikan saran berdasarkan teks bebas, dengan tingkat akurasi informasi yang lebih tinggi ketika materinya komprehensif dan menyeluruh. Kapasitasnya untuk mengidentifikasi pola dan memberikan prediksi berbasis teks menjadikannya alat yang potensial untuk berbagai aplikasi ilmiah.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November hingga Desember 2025. Pelaksanaan penelitian terdiri atas dua tahap, yaitu tahap prediksi berbasis AI yang dilakukan di Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Lampung, serta tahap eksplorasi lapangan berupa pengambilan sampel keragaman serangga yang dilaksanakan di Perkebunan Kopi Robusta Gunung Betung, Desa Wiyono, Kecamatan Gedong Tataan, Kabupaten Pesawaran (Gambar 9). Sampel serangga yang diperoleh selanjutnya diidentifikasi di Laboratorium Zoologi, Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Lampung.



Gambar 9. Lokasi penelitian (Data Hasil Pengolahan 2025).

3.2 Alat dan Bahan

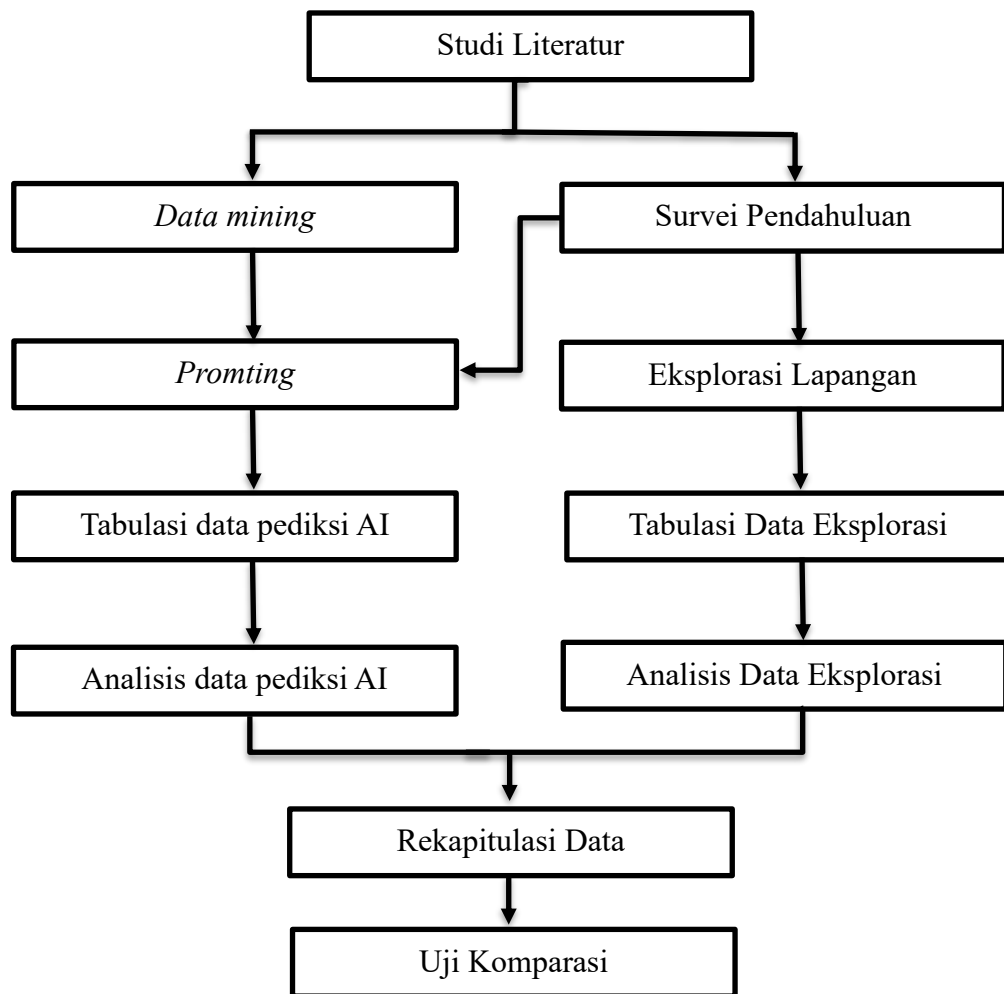
Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat untuk prediksi berbasis AI dan eksplorasi lapangan. Prediksi berbasis AI dilakukan menggunakan laptop yang menjalankan model ChatGPT-5.1 (*free version*). Eksplorasi lapangan menggunakan *insect net* untuk menangkap serangga terbang, serta *yellow trap* dan *pitfall trap* sebagai perangkap pasif. Pengambilan spesimen berukuran kecil dilakukan menggunakan pinset, sedangkan *killing bottle* digunakan untuk mematikan serangga secara cepat. Proses penyimpanan dan preparasi spesimen sebelum identifikasi menggunakan wadah sampel, kain kasa, label, jarum, *millimeter block*, dan styrofoam. Dokumentasi lapangan dilakukan menggunakan kamera, sementara tali rafia dan sekop digunakan masing-masing untuk pemasangan *yellow trap* dan *pitfall trap*. Pengukuran kondisi lingkungan dilakukan menggunakan *light meter*, *thermohygrometer*, dan *soil pH meter*, sedangkan alat tulis, papan kertas, dan staples digunakan untuk mendukung proses pencatatan data. Identifikasi spesimen mengacu pada buku *Borrer and DeLong's Introduction to the Study of Insects*, *The Pests of Crops in Indonesia*, dan *Kunci Determinasi Serangga*.

Bahan yang digunakan terdiri atas alkohol 70% sebagai agen pembunuh dan pengawet sementara, serta deterjen yang berfungsi sebagai umpan dan media pada perangkap agar serangga yang masuk tidak dapat keluar.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain metode campuran yang memadukan teknik kuantitatif prediktif berbasis AI dengan pendekatan kuantitatif eksploratif lapangan. Data primer diperoleh melalui observasi langsung menggunakan *pitfall trap*, *yellow trap*, *sweeping net*, dan *hand collecting* untuk mengumpulkan informasi mengenai keanekaragaman serangga. Data sekunder dihimpun dari 10 artikel terakreditasi SINTA dan 5 artikel Scopus. *Dataset* yang dihasilkan mencakup komposisi spesies, kepadatan populasi,

faktor abiotik (suhu, kelembapan, pH tanah, intensitas cahaya, dan tutupan vegetasi), serta karakteristik habitat. *Dataset* tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam proses *prompting* untuk menghasilkan prediksi berbasis AI menggunakan model AI ChatGPT-5.1 (*free version*). Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil prediksi model dengan data lapangan melalui analisis statistik guna menilai tingkat kesesuaian pola keanekaragaman serangga (Gambar 10).



Gambar 10. Prosedur penelitian

3.4 Prediksi Berbasis AI

3.4.1 Data Mining

Prosedur *data mining* dalam penelitian ini digunakan untuk menghimpun data sekunder yang bersumber dari 15 publikasi ilmiah, terdiri atas 10 artikel terakreditasi SINTA dan 5 artikel terindeks Scopus. Sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.No. artikel 1–10 merupakan jurnal terakreditasi SINTA, sedangkan No. 11–15 merupakan jurnal terindeks Scopus. Artikel-artikel tersebut dipilih secara *purposif* berdasarkan kesesuaian topik dan fokus penelitian yaitu mengenai keanekaragaman serangga (indeks Keanekaragaman serangga dan indeks dominansi), faktor lingkungan (Suhu, Kelembapan, pH tanah, dan intensitas cahaya), pemanfaatan algoritma KB dan artikel yang diambil diterbitkan 10 tahun terakhir.

Tabel 1. Sumber *Dataset* Prediksi AI

No	Judul	Penulis	Tahun Penelitian	Lokasi Penelitian
1	Efek tiga jenis pohon penabung terhadap keragaman serangga pada pertanaman kopi...	Rasiska & Khairullah.	2017	Bandung, Jawa Barat.
2	Keragaman Intensitas Serangan Hama Penggerek Buah Kopi...	Erfandar dkk.	2019	Lampung Barat, Lampung.
3	Keanekaragaman Serangga di Perkebunan Kopi Excelsa...	Ayu dkk.	2020	Jombang, Jawa Timur.
4	Keanekaragaman Makrofauna Tanah di Perkebunan Kopi...	Pariyanto dkk.	2020	Kepahiang, Bengkulu.
5	Keanekaragaman dan kelimpahan Ordo Coleoptera pada perkebunan kopi...	Aseran & Rizali	2022	Malang, Jawa Timur.
6	Insect Community Structure in Young and Productive Coffee Farms under Leucaena...	Indah <i>et al.</i>	2024	Jember, Jawa Timur.
7	Keanekaragaman Hama dan Musuh Alami pada Perkebunan Kopi Robusta...	Chantika dkk.	2024	Lombok Tengah, NTB.
8	Keanekaragaman Serangga dan Fungsinya pada Tiga Tipe Perkebunan Kopi Arabika...	Utari dkk.	2024	Bandung, Jawa Barat.
9	The diversity and ecological roles of insects and arachnids in arabica coffee plantation...	Maharani <i>et al.</i>	2024	Bandung, Jawa Barat.
10	Butterfly diversity in natural and modified habitat at Bahorok District...	Nurhayati <i>et al.</i>	2025	Langkat, Sumatra Utara.
11	The effect of shade trees in the Coffee ecosystem to the population and diurnal...	Supriyadi <i>et al.</i>	2020	Semarang, Jawa Tengah.

No	Judul	Penulis	Tahun Penelitian	Lokasi Penelitian
12	Diversity and species composition of ants at coffee agroforestry systems...	Muhammad <i>et al.</i>	2022	Malang, Jawa Timur.
13	Diversity and foraging activity of coffee insect...	Sinaga <i>et al.</i>	2024	Simalungun, Sumatra Utara.
14	The abundance of ants (Hymenoptera: Formicidae) and their ecological roles as predators in Arabica coffee	Jauharlina <i>et al.</i>	2024	Aceh Tengah, Aceh.
15	Taxonomic and Functional Diversity of Flower-Visiting Insects in Coffee Crops	Maldonado-Cepeda <i>et al.</i>	2024	Colombia.

Proses *data mining* dilakukan melalui eksplorasi sistematis terhadap artikel ilmiah untuk mengidentifikasi struktur informasi yang tersedia, seperti lokasi penelitian, metode pengumpulan data, jenis serangga yang diamati, serta parameter lingkungan yang diukur. Data yang berhasil diekstraksi kemudian disusun dalam format tabular terstruktur dan dikompilasi menjadi satu kesatuan *Dataset*. Komponen *data mining* selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam proses Prompting dan pemodelan prediktif (Tabel 2).

Tabel 2. Komponen *Dataset* Perediksi AI

Jurnal	Metode Penelitian	Faktor Penelitian	Hasil Penelitian
Sinta dan <i>Scopus</i>	Waktu	Suhu (°C)	Jenis Serangga
	Lokasi	pH tanah	Indeks Keragaman
	Luas Area	Kelembapan (%)	Indeks Dominasi
	Teknik Sampling	Kecepatan angin (m/s)	Catatan Tambahan
		Intensitas Cahaya (lux)	
		Ketinggian (mdpl)	

3.4.2 *Prompting* AI

Penyusunan *prompt* dalam penelitian ini dilakukan untuk mengarahkan kinerja model AI berbasis *natural language processing* (NLP) dalam menghasilkan prediksi keragaman serangga berdasarkan data keragaman spesies dan faktor lingkungan yang diperoleh melalui proses *data mining*. Model AI yang digunakan adalah ChatGPT-5.1 (*free version*). Penyusunan *prompt* dilakukan melalui dua tahapan, yaitu *prompt* inisiasi yang menetapkan konteks, peran, informasi *Dataset*, serta batasan model, dan *prompt* instruksi yang berfungsi memberikan perintah serta arahan analitis secara spesifik agar keluaran model selaras dengan kebutuhan penelitian.

Setiap *prompt* dirancang secara sistematis dengan memasukkan variabel-variabel utama yang relevan terhadap keragaman serangga, meliputi suhu, kelembapan, pH tanah, intensitas pencahayaan, jenis tanaman, dan lokasi penelitian. Pemilihan variabel lingkungan tersebut didasarkan pada bukti empiris serta literatur yang menunjukkan pengaruh signifikan faktor-faktor tersebut terhadap pola keragaman, dominansi, dan distribusi komunitas serangga (Tabel 3).

Tabel 3. Pelatihan *prompting* ChatGPT

Jenis <i>prompt</i>	Deskripsi <i>Prompt</i>
Inisiasi	Hai ChatGPT. Berperanlah sebagai seorang ahli entomologi sekaligus analis ekologi komunitas yang berpengalaman. Dalam peran ini, tugas Anda adalah memberikan analisis mendalam mengenai penelitian berjudul “Analisis Komparasi Keragaman Serangga Diurnal Di Perkebunan Kopi Robusta Pada Periode Pematangan Buah Berdasarkan Kecerdasan Buatan Dan Eksplorasi Lapangan”. Dalam percakapan ini, tugas Anda adalah memprediksi keragaman serangga diurnal pada periode pematangan buah kopi robusta dengan menggunakan dua sumber data, yaitu data primer hasil eksplorasi lapangan dan data sekunder yang diperoleh dari ringkasan jurnal

Jenis <i>prompt</i>	Deskripsi <i>Prompt</i>
	penelitian (terlampir pada file <i>Dataset</i>). Analisis yang dilakukan harus memperhatikan kondisi fisik lokasi (koordinat, luas area, dan topografi), teknik sampling, serta faktor abiotik (suhu udara, kelembaban, intensitas cahaya, suhu dan pH tanah). Selain itu, hasil dari data sekunder seperti jenis spesies, jumlah spesies, indeks keragaman serta indeks dominasi harus menjadi acuan dalam melakukan perbandingan dan interpretasi hasil analisis. Rekapitulasi data sekunder terlampir pada file <i>Dataset</i> berikut!
Instruksi	Bertindaklah sebagai seorang peneliti entomologi dan ahli serangga dengan pengalaman lebih dari 30 tahun. Pengambilan sampel dilakukan di [Perkebunan Kopi Robusta Gunung Betung, Desa Wiyono, Kecamatan Gedong Tataan, Kabupaten Pesawaran] pukul [08.00–10.00 dan 14.00–16.00] WIB dengan teknik sampling menggunakan [metode aktif Sweep net dan hand collecting, dan metode pasif Yellow Trap dan Pitfall Trap]. Data lingkungan yang dicatat meliputi parameter fisik, yaitu koordinat GPS [-5.407257, 105.141442], luas area pengamatan [2500 m²], serta karakteristik lanskap berupa [Perkebunan kopi dengan vegetasi di dalamnya gulma dan pohon pisang serta tanaman cabai rawit, dan di sekeliling lahan kopi dikelilingi perkebunan karet serta kakao]. Kondisi cuaca saat pengamatan meliputi suhu udara [27] °C, kelembaban udara [83] %, intensitas cahaya [468] lux, dan keadaan cuaca umum seperti [cerah-berawan dan hujan intensitas ringan hingga sedang]. Selain itu, parameter abiotik tambahan yang diukur adalah kelembapan tanah [80] % dan pH tanah [7] serta ketinggian lokasi [442] mdpl. Berdasarkan dataset tersebut, saya ingin Anda memprediksi keragaman serangga diurnal di lokasi tersebut!

3.4.3 Tabulasi dan Analisis Data AI

Data prediksi yang dihasilkan dari hasil *prompting* AI dan pemodelan numerik disusun dalam format tabular. Setiap baris dalam tabel merepresentasikan satu kondisi lingkungan spesifik, seperti kombinasi suhu, kelembapan, pH tanah, dan jenis tanaman, yang dihubungkan

dengan keluaran prediktif berupa jenis serangga dominan, jumlah individu yang diperkirakan, serta estimasi nilai indeks keanekaragaman Shannon-Wiener. Tabulasi ini mencakup variabel input (kondisi lingkungan) dan output (komunitas serangga). yang dihasilkan baik dari model berbasis *prompting*. Hasil tabulasi ini kemudian dibandingkan dengan data observasi lapangan untuk mengukur tingkat kesesuaian, validitas, dan potensi bias dari model prediktif AI yang digunakan.

3.5 Eksplorasi Lapangan

Pengumpulan data primer dalam penelitian ini dilakukan melalui eksplorasi lapangan. Sampling keragaman serangga diurnal dilakukan di Perkebunan Kopi Robusta Gunung Betung, Desa Wiyono, Kecamatan Gedong Tataan, Kabupaten Pesawaran. Sampling dilakukan pada fase pematangan buah Kopi Robusta. Selain menginventarisasi keanekaragaman serangga, kegiatan eksplorasi lapangan juga mencakup pengukuran sejumlah parameter lingkungan mikro yang berpotensi memengaruhi komunitas serangga, antara lain suhu udara, kelembapan relatif, pH tanah, dan intensitas cahaya.

3.5.1 Pengukuran Parameter lingkungan

Bersamaan dengan kegiatan pengambilan sampel, dilakukan pengukuran beberapa parameter lingkungan yang berpotensi memengaruhi aktivitas serangga diurnal, meliputi suhu udara, kelembapan, intensitas cahaya, dan pH tanah. Pengukuran suhu dan kelembapan dilakukan menggunakan thermohygrometer digital (Gambar 11a) pada ketinggian $\pm 1,5$ meter dari permukaan tanah, sehingga nilai yang diperoleh merepresentasikan kondisi mikroklimat tempat aktivitas serangga berlangsung. Intensitas cahaya diukur menggunakan lux meter digital (Gambar 11b) yang diarahkan ke kanopi tanaman kopi untuk mendapatkan nilai rata-rata pencahayaan di area pengamatan. Nilai pH tanah diukur menggunakan Soil moisture meter (Gambar 11c) pada kedalaman ± 10 cm di zona perakaran tanaman.

Setiap parameter lingkungan diukur pada tiga titik pengamatan untuk memperoleh nilai rata-rata yang secara representatif menggambarkan kondisi mikrohabitat di lokasi penelitian.



Gambar 11. Pengukuran parameter lingkungan (a) *thermohygrometer digital*; (b) *lux meter digital*; (c) *Soil moisture meter*.

3.5.2 Teknik Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel serangga pada penelitian ini dilakukan dengan metode *purposive sampling* pada lahan perkebunan kopi robusta seluas $\pm 2.500 \text{ m}^2$. Pengambilan sampel dilakukan secara menyeluruh (*total sampling*) untuk memperoleh representasi keragaman serangga di area tersebut. Metode yang digunakan meliputi teknik aktif berupa *sweep net* dan *hand collecting* yang diterapkan pada setiap baris tanaman kopi, serta teknik pasif berupa pemasangan *pitfall trap* dan *yellow trap*. Skema penempatan perangkat dilakukan secara beraturan mengikuti sistem *plotting* yang telah ditentukan sebelumnya (Gambar 12). Menurut Ermayani dan Syahbudin (2021), pengambilan sampel serangga dilakukan pada saat aktivitas serangga relatif tinggi, yaitu pada pukul 08.00–10.00 WIB dan 14.00–16.00 WIB.

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20
P1	P1F2	P1	P1F1	P1	P1F2	P1	P1F3	P1	P1F2	P1	P1F1	P1	P1F3	P1	P1F2	P1	P1F1	P1	P1F3
P2Y1	P2	P2Y1	P2	P2Y1	P2	P2Y1	P2	P2Y1	P2	P2Y1	P2	P2Y1	P2	P2Y1	P2	P2Y1	P2	P2Y1	P2
P3	P3F1	P3	P3F2	P3	P3F3	P3	P3F1	P3	P3F1	P3	P3F3	P3	P3F2	P3	P3F3	P3	P3F2	P3	P3F1
P4Y2	P4	P4Y2	P4	P4Y2	P4	P4Y2	P4	P4Y2	P4	P4Y2	P4	P4Y2	P4	P4Y2	P4	P4Y2	P4	P4Y2	P4
P5	P5F3	P5	P5F3	P5	P5F1	P5	P5F2	P5	P5F3	P5	P5F2	P5	P5F1	P5	P5F1	P5	P5F3	P5	P5F2

Gambar 12. Skema Penempatan Plot.

Keterangan :

B = Baris Tanaman Kopi

P = Pohon Kopi

Y = *Yellow Trap*

F = *Pitfall Trap*

A. Teknik penangkapan *sweep net* dan *hand collecting*

Penangkapan serangga dilakukan menggunakan metode aktif berupa *sweep net* dan *hand collecting* secara menyeluruh pada lokasi penelitian dengan luas sekitar $\pm 2.500 \text{ m}^2$. Pengambilan sampel difokuskan pada tanaman kopi robusta serta vegetasi di sekitarnya. Kegiatan penangkapan dilaksanakan pada pukul 09.00–12.00 WIB dan dilakukan secara berkelompok, terdiri atas empat kelompok, dengan masing-masing kelompok beranggotakan empat orang.

Perangkap jaring (*sweep net*) terdiri dari bahan yang kuat dan ringan dengan kain kasa yang mudah diayunkan sehingga dapat memeriksa serangga yang telah tangkap dengan mudah. Teknik ini sering digunakan untuk menemukan dan mengumpulkan serangga yang aktif. Pengumpulan serangga dilakukan dengan cara menangkap secara langsung dengan menggunakan jaring (Rumondang dkk., 2023). Sedangkan *hand collecting* dilakukan dengan pengambilan secara langsung menggunakan tangan atau pinset kemudian di masukan ke dalam botol yang telah diberi alkohol 70% (Samanery dkk., 2025).

B. Teknik penangkapan *pitfall trap*

Penangkapan serangga menggunakan perangkat *pitfall trap* dilakukan dengan memasang sebanyak 30 perangkat pada lokasi penelitian, yang penempatannya disesuaikan dengan plot yang telah ditentukan. Pemasangan *pitfall trap* dilakukan pada pukul 08.00 WIB, kemudian perangkat diambil kembali pada pukul 14.00 WIB.

Perangkap sumuran (*pitfall trap*) digunakan untuk menjebak serangga yang beraktivitas di permukaan tanah. Perangkat ini merupakan metode sederhana yang tersusun atas sebuah cup yang berisi larutan *deterjen* (Samanery dkk., 2025). Cup yang digunakan berkapasitas 266 mL dengan diameter bagian atas 7,5 cm, diameter bagian bawah 5,3 cm, dan tinggi 8,8 cm. Pemasangan *pitfall trap* dilakukan dengan menanam cup ke dalam tanah hingga bibir cup sejajar dengan permukaan tanah. Selanjutnya, cup diisi larutan *deterjen* yang berfungsi sebagai atraktan sekaligus sebagai *killing agent*, sehingga serangga yang masuk tidak dapat keluar (Gambar 13).



Gambar 13. *Pitfall trap* (Dokumentasi pribadi, 2025).

C. Teknik penangkapan *yellow trap*

Penangkapan serangga menggunakan perangkap *yellow trap* dilakukan dengan memasang sebanyak 20 perangkap pada lokasi penelitian, dengan penempatan yang disesuaikan berdasarkan plot yang telah ditentukan. Pemasangan *yellow trap* dilakukan pada pukul 08.00 WIB, dan perangkap diambil kembali pada pukul 14.00 WIB.

Perangkap kuning (*yellow trap*) merupakan perangkap visual yang terbuat dari lembaran plastik berwarna kuning dan dilapisi lem pada seluruh permukaannya. Perangkap ini dikenal ramah lingkungan serta efektif untuk menangkap serangga yang tertarik pada rangsangan warna kuning (Tustiyani dkk., 2020). *Yellow trap* yang digunakan dalam penelitian ini berukuran 20 cm × 25 cm.

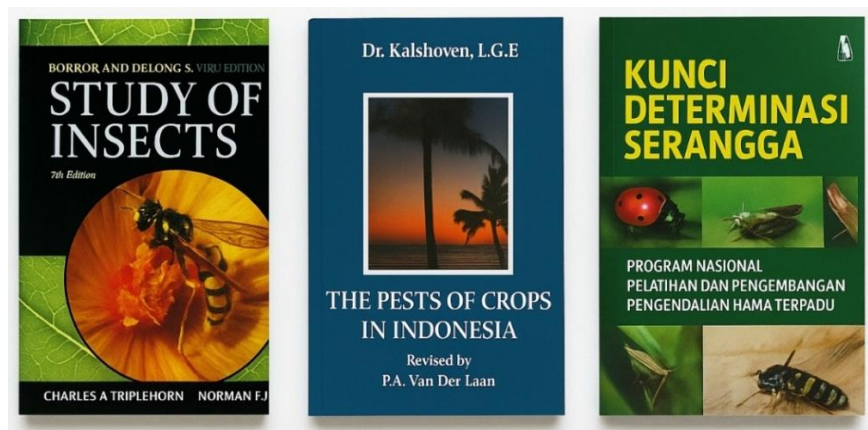
Pemasangan perangkap dilakukan dengan menggunakan tali rafia sebagai penyangga, di mana lembaran perangkap digantungkan pada tali tersebut sesuai dengan plot pengamatan yang telah ditetapkan (Gambar 14).



Gambar 14. *Yellow Trap* (Dokumentasi Pribadi, 2025).

3.5.3 Identifikasi Serangga

Identifikasi serangga yang diperoleh dari ketiga metode pengambilan sampel di lapangan diidentifikasi dan dihitung jumlah individunya secara langsung di lokasi, sedangkan yang belum diketahui spesiesnya diidentifikasi berdasarkan karakter morfologi menggunakan mikroskop di Laboratorium zoologi, Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Lampung. Proses identifikasi mengacu pada buku panduan *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects*, *The Pests of Crops in Indonesia*, dan *Kunci Determinasi Serangga* (Gambar 15).



Gambar 15. Buku Identifikasi serangga (Dokumentasi Pribadi, 2025).

Identifikasi serangga dilakukan dengan pendekatan *digital-assisted identification* melalui pemanfaatan platform daring seperti *iNaturalist* dan *BugGuide* sebagai alat bantu verifikasi spesies. Setiap spesimen yang ditemukan di lapangan didokumentasikan menggunakan kamera telepon genggam, kemudian citra hasil dokumentasi dianalisis menggunakan aplikasi *Google Lens* untuk memperoleh dugaan nama ilmiah berdasarkan kemiripan karakter morfologi. Nama ilmiah yang dihasilkan selanjutnya ditelusuri dan diverifikasi melalui *iNaturalist* dan *BugGuide* dengan membandingkan karakter morfologi kunci, seperti bentuk tubuh, pola warna, struktur antena, dan tipe sayap, terhadap referensi foto dan deskripsi taksonomi yang tersedia pada kedua platform tersebut. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan

akurasi identifikasi melalui triangulasi sumber digital. Menurut Ipin dkk. (2023) yang menyatakan bahwa iNaturalist efektif dalam membantu proses identifikasi organisme melalui integrasi teknologi digital dan partisipasi komunitas ilmiah.

3.5.4 Analisis Data Eksplorasi Lapangan

Data serangga yang diperoleh dari pengamatan secara langsung di lapangan dan identifikasi di analisis menggunakan Indeks Keanekaragaman (*Diversitas*) Shannon-Wiener (Magurran, 1988) dan indeks dominasi dari Simpson (Odum, 1993) sebagai berikut:

A. Indeks Keanekaragaman (H') Shannon-Wiener (Magurran, 1988).

Indeks keanekaragaman dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i \rightarrow p_i \frac{n_i}{N}$$

Keterangan :

H' : Nilai Indeks Keragaman;

p_i : Proporsi sampel total berdasarkan spesies ke i ;

n_i : Jumlah individu ke i ;

N : Jumlah seluruh individu spesies;

Dengan kriteria :

$H' \leq 1$: Keanekaragaman rendah;

$1 < H' < 3$: Keanekaragaman sedang;

$H' \geq 3$: Keanekaragaman tinggi.

B. Indeks dominansi (C') dari Simson (Odum, 1996).

Indeks dominansi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Odum, 1996) :

$$C = \sum_{i=1}^n \left[\frac{n_i}{N} \right]^2$$

Keterangan :

C = Indeks dominansi Simpson;
 n_i = Jumlah individu tiap spesies;
 N = Jumlah individu seluruh spesies.

Dengan kriteria :

(C) mendekati 0 ($< 0,5$) : tidak terdapat spesies yang mendominasi.
 (C) mendekati 1 ($> 0,5$) : terdapat spesies yang mendominasi.

3.6 Analisis Data

3.6.1 Rekapitulasi Data

Rekapitulasi data merupakan tahap dalam mengintegrasikan hasil analisis eksplorasi lapangan dengan prediksi berbasis AI (KB). Rekapitulasi pada penelitian ini dilakukan dengan menyusun data keanekaragaman serangga secara sistematis berdasarkan hasil pengamatan lapangan yang telah dianalisis menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') dan indeks dominansi Simpson (D). Nilai yang diperoleh kemudian dirangkum dalam bentuk tabel untuk memperlihatkan tingkat keragaman dan dominansi serangga sehingga memudahkan proses interpretasi hasil. Prosedur serupa diterapkan pada data prediksi KB, disajikan dalam bentuk tabel rekapitulasi. Dengan adanya dua himpunan data yang terstruktur yakni data hasil eksplorasi lapangan dan hasil estimasi KB dapat dilakukan uji komparasi untuk menilai tingkat kesesuaian maupun perbedaan antara keduanya.

3.6.2 Uji Komparasi

Uji komparasi dilakukan untuk menilai kesesuaian antara hasil analisis prediksi berbasis AI dengan hasil eksplorasi lapangan. Tujuan analisis

ini adalah untuk mengetahui sejauh mana hasil prediksi berbasis AI mampu merepresentasikan kondisi nyata, terkait tingkat keanekaragaman dan dominansi komunitas serangga. Prediksi tersebut digunakan untuk menggambarkan pola struktur komunitas serangga, yang selanjutnya dibandingkan dengan data observasi lapangan sebagai dasar validasi model dan interpretasi ekologis (Miller *et al.*, 2025).

Tahapan analisis diawali dengan penyusunan dan rekapitulasi data yang berasal dari dua sumber, yaitu hasil prediksi berbasis AI dan hasil eksplorasi lapangan. Data tersebut disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang memuat komposisi spesies, nilai indeks keanekaragaman Shannon–Wiener, serta indeks dominansi Simpson. Selanjutnya, data dari kedua sumber distandarisasi agar memiliki kesamaan kategori sehingga dapat dibandingkan secara langsung. Komposisi spesies yang diperoleh dari hasil prediksi AI dan eksplorasi lapangan kemudian dianalisis menggunakan indeks kesamaan Sørensen untuk menilai tingkat kesesuaian komposisi spesies antara kedua metode. Indeks kesamaan Sørensen dihitung berdasarkan persamaan menurut Magurran (1988), dengan rumus sebagai berikut:

$$C_N = \frac{2w}{a + b} \times 100$$

Keterangan:

C_N	= koefisien kesamaan komunitas
W	= jumlah spesies yang sama pada kedua komunitas
a	= jumlah spesies pada Komunitas I
b	= jumlah spesies pada Komunitas II

Mengingat nilai indeks keanekaragaman dan dominansi yang diperoleh masing-masing metode hanya berupa satu nilai dan tidak memiliki ulangan, maka analisis perbandingan tidak dilakukan menggunakan uji

statistik inferensial. Perbandingan dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan nilai indeks keanekaragaman dan dominansi antara hasil prediksi AI dan eksplorasi lapangan. Hasil perbandingan tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik untuk menggambarkan pola perbedaan dan tingkat kesesuaian antar metode. Seluruh proses pengolahan dan visualisasi data dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian berjudul “Analisis Komparasi Keragaman Serangga Diurnal di Perkebunan Kopi Robusta pada Periode Pematangan Buah Berdasarkan Prediksi Kecerdasan Buatan dan Eksplorasi Lapangan”, dapat disimpulkan bahwa:

1. Prediksi berbasis AI menunjukkan keragaman serangga diurnal sebanyak 1.167 individu yang terdiri atas 27 spesies dari 8 ordo, dengan indeks keanekaragaman (H') sebesar 2,813 dalam kategori sedang dan indeks dominansi (C') sebesar 0,077 dalam kategori rendah.
2. Eksplorasi lapangan menunjukkan keragaman serangga diurnal sebanyak 684 individu yang terdiri atas 57 spesies dari 9 ordo, dengan indeks keanekaragaman (H') sebesar 3,062 dalam kategori tinggi dan indeks dominansi (C') sebesar 0,088 dalam kategori rendah.
3. Analisis komparatif menunjukkan bahwa eksplorasi lapangan menghasilkan komposisi spesies yang lebih tinggi, yaitu 57 spesies dari 9 ordo, dengan indeks keanekaragaman (H') sebesar 3,062 yang tergolong tinggi serta indeks dominansi (C') sebesar 0,088 yang tergolong rendah.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan *dataset* yang lebih lengkap, terstruktur, dan spesifik sesuai dengan karakteristik lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, S. M., Dick, S., Dillon, S., Jones, M. L., Penn, J., & Staley, R. (2023). Histories of artificial intelligence: A genealogy of power. *BJHS Themes*, 8, 1–18. <https://doi.org/10.1017/bjt.2023.15>
- Anggraini, T. K., Budiarti, L., Rizkie, L., & Octavia, D. M. (2021). *Pengantar Ekologi Serangga*. Palembang: Universitas Sriwijaya. <https://repository.unsri.ac.id/47572/>
- Ansari A, & Memon N. (2017). Seasonal variation and diversity of hoverflies fauna (Diptera: Syrphidae) in central Sindh, Pakistan. *Sarhad Journal of Agriculture*. 33(4):653–660.
- Afandi, A., Winarno, W., Suhada, S., Maharani, A. L., Safitri, A., Saputri, N. A., Rhamadaningtyas, N. A., Soegiharto, Y. C., Apriani, V., Fitrisyah, A. Z., Pratama, M. I. A., Vega, C. A., Pawaka, A. S., Saputra, R. A. B., Amrullah, S. H., Parabi, M. I., Rustiati, E. L., Pratami, G. D., Permatasari, N., & Priyambodo, P. (2025). Analisis komparatif keragaman serangga tanah diurnal pada perkebunan kopi berdasarkan prediksi AI dan eksplorasi lapangan. *Jurnal Biogenerasi*, 10(4), 2096–2108. <https://doi.org/10.30605/biogenerasi.v10i4.7121>
- Aripin, I., Gaffar, A. A., Rizkia, R. F., & Yulianti, D. (2023). Utilizing The iNaturalist Application for Biology Research and Learning. *Jurnal Mangifera Edu*, 7(2), 83-93.
- Aseran, K. A. W., & Rizali, A. (2022). Keanekaragaman dan kelimpahan Ordo Coleoptera pada perkebunan kopi di Jawa Timur. *Jurnal HPT*, 10(3), 119–132.
- Ayu, L. A., Nasirudin, M., & Wardhani, Y. (2020). Keanekaragaman serangga di perkebunan kopi Excelsa Desa Panglungan Kabupaten Jombang. *Agrosaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 3(1), 163–168.
- Bang, Y., Cahyawijaya, S., Lee, N., Dai, W., Su, D., Wilie, B., & Fung, P. (2023). A multitask, multilingual, multimodal evaluation of ChatGPT on

reasoning, hallucination, and interactivity. *arXiv preprint arXiv:2302.04023*. <https://arxiv.org/abs/2302.04023>

- Basri, M. H., & Fariyanti, A. (2024). The impact of contract farming on the production risk of coffee farming in Lampung. *Jurnal Manajemen & Agribisnis*, 21(2), 237–247. <https://doi.org/10.17358/jma.21.2.237>
- Basna, M., Koneri, R., & Papu, A. (2017). Distribusi dan diversitas serangga tanah di Taman Hutan Raya Gunung Tumpa Sulawesi Utara. *Jurnal MIPA UNSRAT*, 6(1), 36–42. <https://doi.org/10.35799/jm.6.1.2017.16082>
- Batista, L. R., Chalfoun de Souza, S. M., Silva e Batista, C. F., & Schwan, R. F. (2016). Coffee: Types and production. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 244–251). Cambridge, MA: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00184-7>
- Beery, S., Cole, E., Parker, J., Perona, P., & Winner, K. (2021). Species distribution modeling for machine learning practitioners: A review. In *Proceedings of the 4th ACM SIGCAS Conference on Computing and Sustainable Societies* (pp. 329–348).
- Begon, M., Harper, J. L. and Townsend, C. R. (1986). *Ecology: Individuals, Populations and Communities*. Victoria: Blackwell Scientific Publications.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Indonesia. (2018). *Statistik Kopi Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Indonesia. (2021). *Statistik Kopi Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Indonesia. (2024). *Statistik Kopi Indonesia* (Vol. 8). BPS-Statistics Indonesia. Indonesia
- Branco, V. V., Correia, L., & Cardoso, P. (2023). The use of machine learning in species threats and conservation analysis. *Biological Conservation*, 283, 110091.
- Borrer, D.J. (1996). *Pengenalan Pelajaran Serangga Edisi ke-enam*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Budiaman, B., Nuraeni, S., Nurhaini, N., & Prastiyo, A. (2025). Composition and role of ants (Formicidae) as indicators of habitat conditions in different stands in an urban forest in Makassar, South Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 26(1), 146–152.

- Chang, E. Y. (2023). *Prompting large language models with the Socratic method. In 2023 IEEE 13th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* (pp. 351–360). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/CCWC56745.2023.00065>
- Chantika, B. M. K., Fauzi, M. T., Muthahanas, I., & Jihadi, A. (2024). Keanekaragaman hama dan musuh alami pada perkebunan kopi robusta (*Coffea canephora*) di Desa Karang Sidemen Kecamatan Batukliang Utara Kabupaten Lombok Tengah. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agrokomplek*, 3(3), 226–235.
- Chiranjeevi, S., Sadaati, M., Deng, Z. K., Koushik, J., Jubery, T. Z., Mueller, D., & Ganapathysubramanian, B. (2023). Deep learning powered real-time identification of insects using citizen science data. *arXiv preprint arXiv:2306.02507*. <https://arxiv.org/abs/2306.02507>
- Chiranjeevi, S., Zaremehrijerdi, H., Deng, Z. K., Jubery, T. Z., Grele, A., Singh, A., & Hegde, C. (2025). TerraIncognita: A Dynamic Benchmark for Species Discovery Using Frontier Models. *arXiv preprint arXiv:2506.03182*.
- Christensen, S., van der Burg, C. A., Clarke, A. R., & Prentis, P. J. (2023). Gene expression responses of *Bactrocera tryoni* larvae feeding on different ripening stages of tomato fruit. *Journal of Applied Entomology*, 147(3), 205–230. <https://doi.org/10.1111/jen.13101>
- Copoiu, D. S., Lavin, P., Itcus, C., & Purcarea, C. (2025). Patterns of Insect Distribution in Fruit Trees of South Romania and Their Role as Bacterial Vectors. *Diversity*, 17(4), 295.
- Covre, A. M., Partelli, F. L., Bonomo, R., Braun, H., & Ronchi, C. P. (2016). Vegetative growth of Conilon coffee plants under two water conditions in the Atlantic region of Bahia State, Brazil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 38(4), 535–545. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i4.30627>
- Cronquist, A. (1981). *An Integrated System of Classification of Flowering Plants* (pp. 248–250). New York, NY: Columbia University Press.
<https://archive.org/details/integratedsystem0000cron>
- Daawia, D., Dianingsih, N., Numberi, Y., & Suhartawan, B. (2024). Serangga polinator (Lepidoptera: Superfamili Papilionoidea) guna mendukung pertanian berkelanjutan di lahan agro-ekosistem. *Jurnal Biologi Papua*, 16(2), 87–97.
- de Pedro Noriega, L., Bobo-Pinilla, J., Delgado-Iglesias, J., Reinoso-Tapia, R., Gallego, A. M., & Quirós-Alpera, S. (2025). AI in biodiversity education:

- The bias in endangered species information and its implications. *Sustainability*, 17(14), 6554. <https://doi.org/10.3390/su17146554>
- de Oliveira Aparecido, L. E., Rolim, G. D. S., Moraes, J. R. D. S. C. D., Valeriano, T. T. B., & Lense, G. H. E. (2018). Maturation periods for *Coffea arabica* cultivars and their implications for yield and quality in Brazil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(10), 3880-3891.
- Dewi, N., Aini, F. R. K., Haryadi, N. T., & Kurnianto, A. S. (2024). Pengaruh Dua Tipe Agroforestri Berbasis Kopi Terhadap Populasi Semut Hitam (*Dolichoderus* sp.) di Lereng Barat Gunung Raung. *Journal of Tropical Silviculture*, 15(03), 201-209.
- Djoewari, S. (2020). *Mengenal Serangga di Sekitar Kita*. Alprin.
- Djaya, L., Anastasya, J. O., Martua, D., & Sianipar, S. (2022). Keragaman predator dan parasitoid serangga hama tanaman ciplukan (*Physalis peruviana* L.) fase generatif di Desa Kadakajaya, Kecamatan Tanjungsari, Kabupaten Sumedang. *Jurnal Agrikultura*, (2), 115–125.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2021). *Ancaman serangga Valanga nigricornis (belalang kayu) pada tanaman perkebunan. Kementerian Pertanian Republik Indonesia*. Diakses 13 Desember 2025, pukul 19.00 WIB, dari <https://ditjenbun.pertanian.go.id/ancaman-serangga-valanga-nigricornis-belalang-kayu-pada-tanaman-perkebunan/>
- Erfandari, O., Hamdani, & Supriyatdi, D. (2019). Keragaman intensitas serangan hama penggerek buah kopi (*Hypothenemus hampei* Ferrari) pada beberapa sentra produksi kopi robusta di Provinsi Lampung. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 19(3), 244–249.
- Escobar-Ramírez, S., Tscharntke, T., Armbrrecht, I., Torres, W., & Grass, I. (2020). Decrease in β -diversity, but not in α -diversity, of ants in intensively managed coffee plantations. *Insect Conservation and Diversity*, 13(5), 445-455.
- Eskani, I. N., Mandegani, G. B., Utamaningrat, I. M. A., & Suchyono, A. E. (2020). Pengawetan kayu karet (*Hevea brasiliensis*) dan kayu kopi (*Coffea* sp.) dengan Brotowali (*Tinospora crispa*). *Dinamika Kerajinan dan Batik: Majalah Ilmiah*, 37(2), 185–194.
- Farah, A. (2012). Coffee constituents. *Coffee: Emerging health effects and disease prevention*, 1, 22-58.
- Fithriyyah, D., Wulandari, E., & Sendjaja, T. P. (2020). Potensi komoditas kopi dalam perekonomian daerah di Kecamatan Pangalengan Kabupaten Bandung. *Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis*, 6(2), 700–714.

- Gardiner, T., & Casey, D. (2024). Topographic heterogeneity influences diversity and abundance of Orthoptera in a rewilding scheme. *Journal of Orthoptera Research*, 33(2), 255-266.
- Gauld, I. D. (1984). *An introduction to the Ichneumonidae of Australia* (pp. 413-pp).
- Gumulya, D., & Helmi, I. S. (2017). Kajian budaya minum kopi indonesia. *Jurnal Dimensi Seni Rupa dan Desain*, 13(2), 153-172.
- Grootaert, P., Pollet, M., Dekoninck, W., & van Achterberg, C. (2010). *Sampling insects: General techniques, strategies and remarks*. In J. Eymann, J. Degreef, J. Häusser, C. Monje, Y. Samyn, & D. VandenSpiegel (Eds.), *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring* (pp. 337–399). ABC Taxa.
- Gustian, M., Wulandari, S., Anggraini, S., & Yustina, I. (2024). Teknik perkecambahan terhadap jumlah pertumbuhan benih kopi robusta (*Coffea canephora*). *JAGO TOLIS: Jurnal Agrokompleks Tolis*, 4(2), 97–103.
- Frazier, A. E., & Song, L. (2024). Artificial intelligence in landscape ecology: Recent advances, perspectives, and opportunities. *Current Landscape Ecology Reports*, 10(1), 1.
- Hadi, M. H., Tarwotjo, U., & Rahadian, R. (2009). *Biologi Insekta Entomologi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Haenlein, M., & Kaplan, A. (2019). A brief history of artificial intelligence: On the past, present, and future of artificial intelligence. *California management review*, 61(4), 5-14.
- Hamilton, L. J., Hollingsworth, R. G., Sabado-Halpern, M., Manoukis, N. C., Follett, P. A., & Johnson, M. A. (2019). Coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*)(Coleoptera: Curculionidae) development across an elevational gradient on Hawai ‘i Island: Applying laboratory degree-day predictions to natural field populations. *PLoS One*, 14(7), e0218321.
- Haneda, N. F., Kusmana, C., & Ramadhan, B. K. (2023). Keanekaragaman jenis arthropoda tajuk di hutan mangrove Ciletuh, Sukabumi, Jawa Barat. *Journal of Tropical Silviculture*, 14(02), 158-167.
- Harnelly, E., Heriansyah, F., & Ramlan, R. R. (2024). Morphological relationship of coffee varieties (*Coffea* spp.) Arabica and Robusta in Pondok Gajah Experimental Garden, Bener Meriah. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1356(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1356/1/012014>

- Herlinda, S., Apriyanti, H., & Anggraini, E. (2019). Paddy rice spacing and its impact on community of insect pest in fresh swamp ecosystems. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 15(3), 151–165. <https://doi.org/10.5994/jei.15.3.151>
- Herlinda, S., Efendi, R. A., Aryana, I. M., Irsan, C., Septariani, D. N., & Suwandi, S. (2020). New emerging entomopathogenic fungi isolated from soil in South Sumatra (Indonesia) and their filtrate and conidial insecticidal activity against *Spodoptera litura*. *Biodiversitas*, 21(11), 5102–5113. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211115>
- Herlinda, S., Pujiastuti, Y., Irsan, C., & Anggraini, E. (2021). *Buku Pengantar Ekologi Serangga*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/352093125>
- Herlinda, S., Octariati, N., & Suwandi, S. (2020). Exploring entomopathogenic fungi from South Sumatra (Indonesia) soil and their pathogenicity against a new invasive maize pest, *Spodoptera frugiperda*. *Biodiversitas*, 21(7), 2955–2965. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210711>
- Hidayat, A. R., Ramadhan, R. A. M., & Nasrudin, N. (2022). Keanekaragaman dan dominasi serangga di persawahan di Kecamatan Mangkubumi, Indihiang, dan Cibereum Kota Tasikmalaya. *AGROSCRIPT: Journal of Applied Agricultural Sciences*, 4(2), 48-56.
- Husamah, H., Rahardjanto, A., & Hudha, A. M. (2017). *Ekologi hewan tanah (Teori dan praktik)*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- Hussin, N., & Azmir, I. A. (2022). Morphological and meristic study on rice bugs *Leptocorisa oratorius* (Fabricius, 1764) at Kuala Pilah and Bahau paddy fields. *Journal of Academia*, 10.
- Ikhwana, A. (2017). Analisis dan strategi penambahan nilai jual komoditas kopi melalui penataan rantai nilai komoditas kopi. *Jurnal Kalibrasi*, 15(1), 1–8.
- Indrawanto, C., Kamawati, E., Munarso, Prastowo, S. J., Rubijo, B., & Siswanto. (2010). *Budidaya dan pascapanen kopi*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan.
- Indriati, G., Hidayat, P., & Tim Peneliti BRIN. (2023). Perkembangan teknologi identifikasi serangga: Development of insect identification technology from era to era. *Jurnal Proteksi Tanaman*, 12, 86–98.
- Indah, Z. T., Rahayu, D. S., & Setiawan, R. (2024). Insect community structure in young and productive coffee farms under *Leucaena* shade of Jember Regency, East Java, Indonesia. *Pelita Perkebunan*, 40(2), 151–160.

- Jauharlina, J., Husni, H., Sayuthi, M., Pramayudi, N., Safitri, N. F., & Irba, M. H. (2024). The abundance of ants (Hymenoptera: Formicidae) and their ecological roles as predators in Arabica coffee plantations with different densities of shade trees. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1297, 012048.
- Jaya, A. S., & Widayat, W. (2018). Pengaruh umpan terhadap keefektifan pitfall trap untuk mendukung praktikum ekologi hewan di Laboratorium Ekologi FMIPA Unsyiah. *Jurnal Bioleuser*, 2(3).
- Johnson, M. A., Maeda, C. T., & Pulakkatu-Thodi, I. (2024). Vertical and temporal flight patterns of coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae) in Hawaii. *Environmental Entomology*, 53(4), 640–647.
- Jones, V. P. (2002). *Macadamia integrated pest management*. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa.
- Jumar. (2000). *Entomologi Pertanian*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Kalyan, K. S. (2024). A survey of GPT-3 family large language models including ChatGPT and GPT-4. *Natural Language Processing Journal*, 6, 100048. <https://doi.org/10.1016/j.nlpj.2024.100048>
- Kaur, A. D., & Kaur, K. (2021). Impact of abiotic factors and environmental contamination on insect diversity of agro-ecosystem: A review. *Uttar Pradesh Journal of Zoology*, 42(21), 118–125.
- Kementerian Pertanian. (2022). *Outlook Kopi: Komoditi Pertanian Subsektor Perkebunan*. Jakarta: Kementerian Pertanian.
- Khurota, A. (2021). Morfologi Bagian Tubuh Serangga Beserta Gambarnya. Angphotorion. Diakses pada 2 Desember 2025, pukul 19.45 WIB, dari <https://www.angphotorion.com/morfologi-bagian-tubuh-serangga/>
- Klaipuk, V., Boonkorkaew, P., & Kasemsap, P. (2024). Morpho-physiological changes during leaf development of robusta coffee under shade condition. *Thai Journal of Agricultural Science*, 57(3), 152–163.
- Klein, A. M., Steffan-Dewenter, I., & Tschardt, T. (2003). Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 270(1518), 955–961.
- Kurnianto, A. S., Haryadi, N. T., Dewi, N., Noviardhana, A., Puspitasari, D. A., Laili, F., ... & Handoko, R. N. S. (2024). Tackling Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei* Ferr.) Challenges: The Science of Ant Colonization, Nest Design, and Food Preferences in Indonesian Coffee Agroecosystems. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 46(3), 541–551.

- Laskar, M. T. R., Bari, M. S., Rahman, M., Bhuiyan, M. A. H., Joty, S., & Huang, J. X. (2023). A systematic study and comprehensive evaluation of ChatGPT on benchmark *Datasets*. arXiv preprint arXiv:2305.18486. <https://arxiv.org/abs/2305.18486>
- Lavore, A., Perez-Gianmarco, L., Esponda-Behrens, N., Palacio, V., Catalano, M. I., Rivera-Pomar, R., & Ons, S. (2018). *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae) transcriptomic analysis and neuropeptidomics. *Scientific Reports*, 8(1), 17244.
- Lau, J. Y., Guo, X., Pang, C. C., Tang, C. C., Thomas, D. C., & Saunders, R. M. (2017). Time-dependent trapping of pollinators driven by the alignment of floral phenology with insect circadian rhythms. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1119.
- Lengkong, M., Wanta, N. N., & Paruntu, M. B. (2024). Diversity of Insect Types on Rice (*Oryza Sativa* L.) Crops in Minahasa District. *Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal*, 6(2), 72-80.
- Li, D. F., Tang, J., Fan, X. D., Chen, Y. D., Liu, Z., Liang, A. T., & Yan, X. C. (2025). Diurnal temperature and time affect visitation patterns of honey bees. *Sociobiology*, 72(1), e11384.
- Liu, J. (2024). ChatGPT: Perspectives from human–computer interaction and psychology. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7, 1418869. <https://doi.org/10.3389/frai.2024.1418869>
- Luo, C. W., Huang, Z. Y., Chen, X. M., Li, K., Chen, Y., & Sun, Y. Y. (2011). Contribution of diurnal and nocturnal insects to the pollination of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) in southwestern China. *Journal of Economic Entomology*, 104(1), 149–154.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement* (pp. 7–46). Princeton University Press.
- Maharani, Y., Dewi, A. P. K., Rasiska, S., Hutapea, D., Maxiselly, Y., & Sandrawati, A. (2024). The diversity and ecological roles of insects and arachnids in arabica coffee (*Coffea arabica*) plantation in Palasari, Bandung Regency. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 21(1), 54-62.
- Maldonado-Cepeda, J. D., Gómez, J. H., Benavides, P., Jaramillo, J., & Gil, Z. N. (2024). Taxonomic and functional diversity of flower-visiting insects in coffee crops. *Insects*, 15(3), 143.
- Manikandan KR, Muthuswami M, Chitra N, Ananthan M. Diversity of Odonata in a coffee ecosystem. *Indian Journal of Entomology*. 2023; 85(3):274–276.

- Medeiros, H. R., Martello, F., Almeida, E. A., Mengual, X., Harper, K. A., Grandinete, Y. C., & Ribeiro, M. C. (2019). Landscape structure shapes the diversity of beneficial insects in coffee producing landscapes. *Biological Conservation*, 238, 108193
- Meilin, A., & Nasamsir, D. (2016). Serangga dan peranannya dalam bidang pertanian dan kehidupan. *Jurnal Media Pertanian*, 1(1).
- Miller, T., Michoński, G., Durlík, I., Kozłowska, P., & Biczak, P. (2025). Artificial Intelligence in Aquatic Biodiversity Research: A PRISMA-Based Systematic Review. *Biology*, 14(5), 520.
- Miyaji, R. O., Valencia De Almeida, F., & Luiz Pizzigatti Correa, P. (2025). Evaluating the Landscape of AI in Ecology: A Systematic Review of Machine Learning for Species Distribution Models. *IEEE ACCESS*, 13, 187658-187671.
- Moreno-Ramirez, N., Bianchi, F. J., Manzano, M. R., & Dicke, M. (2024). Ecology and management of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*): the potential of biological control. *BioControl*, 69(2), 199-214.
- Muhammad, F. N., Rizali, A., & Rahardjo, B. T. (2022). Diversity and species composition of ants at coffee agroforestry systems in East Java, Indonesia: Effect of habitat condition and landscape composition. *Biodiversitas*, 23, 3318–3326
- Munyuli, M. T. (2013). Drivers of species richness and abundance of butterflies in coffee–banana agroforests in Uganda. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 9(4), 298-310.
- Natanaela, J., Putra, G. Y., Runtulalo, S., & Luntungan, E. M. (2022). Inventarisasi Komunitas Arthropoda di Taman Kehati Kaki Dian, Minahasa Utara. *Silvarum*, 1(3), 75-81.
- Nugroho, S. A., Bagiatus, S., Setyoko, U., Fatimah, T., & Novenda, L. (2022). Pengaruh ZPT nabati dan media tumbuh terhadap perkembangan kopi robusta. *Jurnal Pertanian Universitas Jember*, 5(2).
- Nurhayati, S., Syarifuddin, Ritonga, Y. E., Pradwinata, R., & Pendong, L. M. (2025). Butterfly diversity in natural and modified habitat at Bahorok District, Langkat Regency, North Sumatra. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 22(1), 17–28.
- Nuryani, D. D., Kinata, S. P. A., Aryasih, I. G. A. M., Hasby, R. M., Rusminingsih, N. K., Vanchapo, A. R., & SKM, M. (2023). *Entomologi dalam kesehatan lingkungan*. Cendikia Mulia Mandiri.

- Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of ecology* (3rd ed.). Philadelphia, PA: W.B. Saunders Company.
- Odum, E. P. (1994). *Dasar-dasar Ekologi* (Terj. T. Saingan). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Okely, M., Saleh, M., & El-Hawary, F. (2020). Ecological roles and biocontrol potential of praying mantises (Mantodea) in agricultural systems. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30, 102. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00283-4>
- Oktavianda, A., Bakti, D., & Lisnawita. (2019). Keanekaragaman serangga hama pada perkebunan kopi arabika (*Coffea arabica* L.) dan robusta (*Coffea canephora* Pierre.) di Desa Juma Lubang dan Desa Tumangger Kecamatan Sumbul Kabupaten Dairi. *Jurnal Agroekoteknologi*, 7(2), 400–406. <https://jurnal.usu.ac.id/agroekoteknologi>
- Oktaviani, F. I. N., Wahidah, F. F., & Alif, T. (2022). Keanekaragaman serangga hama pada lahan tanaman padi (*Oryza sativa* L.) dengan dan tanpa refugia di Desa Besur Lamongan. *Jurnal Matematika dan Sains* (JMS), 2(2), 223–230.
- Pangestika, I. W., Susilowati, A., & Purwanto, E. (2021). Morphological characteristics of Temanggung's Robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) at different altitudes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 824(1), 012067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/824/1/012067>
- Partelli, F. L., Vieira, H. D., Silva, M. G., & Ramalho, J. C. (2010). Seasonal vegetative growth of different age branches of Conilon coffee tree. *Semina: Ciências Agrárias*, 31(3), 619–626.
- Pariyanto, P., Sulaiman, E., & Ihdana, B. (2020). Keanekaragaman makrofauna tanah di perkebunan kopi Desa Batu Kalung Kecamatan Muara Kemumu Kabupaten Kepahiang. *Jurnal Biosilampari*, 2(2), 44–51.
- Polizzi, A., Quinzi, V., Lo Giudice, A., Marzo, G., Leonardi, R., & Isola, G. (2024). Accuracy of artificial intelligence models in the prediction of periodontitis: A systematic review. *JDR Clinical & Translational Research*, 9(4), 312–324. <https://doi.org/10.1177/23800844241232318>
- Potamitis, I., Eliopoulos, P., & Rigakis, I. (2017). Automated remote insect surveillance at a global scale and the internet of things. *Robotics*, 6(3), 1–23. <https://doi.org/10.3390/robotics6030019>
- Potočník, J., Thomas, E., Kearney, D., Killeen, R. P., Heffernan, E. J., & Foley, S. J. (2025). Can ChatGPT and Gemini justify brain CT referrals? A

comparative study with human experts and a custom prediction model. *European Radiology Experimental*, 9(1), 24.

- Pracaya. (2009). *Hama dan Penyakit Tanaman* (Cet. XII). Jakarta: Penebar Swadaya.
- Oserio Pérez, V., Matallana Pérez, L. G., Fernandez-Alduenda, M. R., Alvarez Barreto, C. I., Gallego Agudelo, C. P., & Montoya Restrepo, E. C. (2023). Chemical composition and sensory quality of coffee fruits at different stages of maturity. *Agronomy*, 13(2), 341.
- Permatasari, N., & Priyambodo, P. (2024). Evaluasi Kemampuan AI Text-to-image dalam Mencitrakan Karakter Genetik pada Sifat Fenotipik Biji Kopi Robusta dan Arabika. *Biofarm: Jurnal Ilmiah Pertanian*, 20(2), 199-205.
- Price, P. W. (1999). *'Insect Ecology'*. USA: John Wiley & Sons, Inc
- Priyambodo, P., & Permatasari, N. (2024). Evaluasi visualisasi ChatGPT dalam mengkarakterisasi sifat fenotipe *Heterotrigona itama* sebagai agen polinator kopi. *BIO-CONS: Jurnal Biologi dan Konservasi*, 6(2), 500-511.
- Pujiastuti, Y., Susanto, H., Salbiah, D., & Anggraini, E. (2020). Identification of fruit flies (Diptera: Tephritidae) and their distribution in South Sumatera Province. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 17(3), 125–135.
<https://doi.org/10.5994/jei.17.3.125>
- Praditya, A. & Rahardjo, B. T. (2025). Phenology of The Coffee Fruit Borer Beetle Hypothenemus hampei on Two Varieties of Coffee Plants. *Journal of Tropical Plant Protection*, 6(1), 31-37.
- Politanikoe (2017). Tipe Metamorfosis Serangga. Politeknik Pertanian Negeri Kupang. Diakses pada 2 Desember 2025, pukul 22.36 WIB, dari <https://mplk.politanikoe.ac.id/index.php/program-studi/28-manajemen-pertanian-lahan-kering/informasi-materi-kuliah-praktek1/188-tipe-metamorfosis-serangga>
- Pollock, L. J., Kitzes, J., Beery, S., Gaynor, K. M., Jarzyna, M. A., Mac Aodha, O., & Berger-Wolf, T. (2025). Harnessing artificial intelligence to fill global shortfalls in biodiversity knowledge. *Nature Reviews Biodiversity*, 1-17.
- Putri, A., Dhafir, F., Zainal, S., Sabran, M., Agni, R., & Sutrisnawati, S. (2025). Keanekaragaman Jenis Serangga di Berbagai Lahan Pertanian Kecamatan Basidondo. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(3), 1633-1640.
- Qin, Y. J., Krosch, M. N., Schutze, M. K., Zhang, Y., Wang, X. X., Prabhakar, C. S., ... & Li, Z. H. (2018). Population structure of a global agricultural

- invasive pest, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Evolutionary Applications*, 11(10), 1990-2003.
- Rahardjo, P. (2012). *Panduan budi daya dan pengolahan kopi arabika dan robusta*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Rahmi, S., Siregar, D. A., & Siregar, R. A. D. (2023). Studi keanekaragaman serangga pada perkebunan kopi Sipirok (*Coffea arabica* L.). *Jurnal Education and Development*, 11(3), 309–312.
<https://doi.org/10.37081/ed.v11i3.5466>
- Randriani, E., & Dani. (2018). *Pengenalan varietas unggul kopi*. Jakarta: Indonesian Agency for Agricultural Research and Development (IAARD) Press.
- Rasjid, A., Khaer, A., & Purnawati, K. (2024). *Buku Ajar Entomologi*. Nas Media Pustaka.
- Rasiska, S., & Khairullah, A. (2017). Efek tiga jenis pohon penabung terhadap keragaman serangga pada pertanaman kopi di Perkebunan Rakyat Manglayang, Kecamatan Cilengkrang, Kabupaten Bandung. *Agrikultura*, 28(3).
- Rumondang, J., Asniwita, A., W. S., R. B., & Lestari, E. (2023). Keanekaragaman serangga yang berpotensi hama di Hutan Pendidikan Universitas Jambi. *Jurnal Silva Tropika*, 7(2), 118–129.
- Rattanapun, W. (2013). Biology of rice bug *Leptocorisa oratorius* (Fabricius) (Hemiptera: Alydidae), population change and alternative host plants. *Communications in agricultural and applied biological sciences*, 78(2), 193-197.
- Salazar, B. M., Gunda, D. M., Lagrimas, A. J. M., Santos, P. J. A., & Del Rosario, E. E. (2019). Profiling and analysis of reproductive phenology of four coffee (*Coffea* spp.) species in the Philippines using the BBCH scale. Journal Article. Retrieved from <https://www.ukdr.uplb.edu.ph/journal-articles/5671>
- Samanery, H., Latumahina, F., & Wattimena, C. (2025). Penyebaran serangga pada areal pertanaman eukaliptus (*Eucalyptus alba*) Hutan Lindung Gunung Nona Desa Urimesing Kota Ambon. MARSEGU: *Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(11), 1153–1160.
- Savdurin, B., Latumahina, F., & Wattimena, C. (2023). High Biodiversity and Low Dominance in Insect Species on Marsegu Island: A Case Study. *Academia Open*, 8(2), 10-21070.

- Schowalter, T. D. (2006). *Insect ecology: An ecosystem approach* (2nd ed.). Burlington, MA: Academic Press.
- Schmitt, L., & Perfecto, I. (2020). Who gives a flux? Synchronous flowering of *Coffea arabica* accelerates leaf litter decomposition. *Ecosphere*, 11(7), e03186.
- Shin, J., Tang, C., Mohati, T., Nayebi, M., Wang, S., & Hemmati, H. (2023). *Prompt engineering or fine tuning: An empirical assessment of large language models in automated software engineering tasks. arXiv preprint arXiv:2310.10508. <https://arxiv.org/abs/2310.10508>*
- Sinaga, R. R., Maryana, N., & Hidayat, P. (2024). Diversity and foraging activity of coffee insect pollinators in land near and far from the forest of North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 25(1), 240–248.
- Siregar, A. S., Bakti, D., & Zahara, F. (2014). Keanekaragaman Jenis Serangga Di Berbagai Tipe Lahan Sawah. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 2(2337), 1640-1647.
- Silva, C. A. D., Partelli, F. L., Aoyama, E. M., Bonomo, R., Vieira, H. D., Ramalho, J. C., & Ribeiro-Barros, A. I. (2021). Floral morphology of robusta coffee genotypes. *Agronomy Journal*, 113(4), 3080–3088.
- Silva, L. O. E., Schmidt, R., Valani, G. P., Ferreira, A., Ribeiro-Barros, A. I., & Partelli, F. L. (2020). Root trait variability in *Coffea canephora* genotypes and its relation to plant height and crop yield. *Agronomy*, 10(9), 1394. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091394>
- Souza IL, de Paulo HH, de Siqueira MA, Costa VA, Wengrat APGDS, Peronti ALBG, Martinelli NM. Scale insects and natural enemies associated with Conilon coffee (*Coffea canephora*) in São Paulo State, Brazil. *Agriculture*. 2023; 13(4):829.
- Sophany, P., Socheata, R. I. M., Keath, S., Theary, K. E. U. M., Doeurk, B., & Cheysen, H. O. T. (2019). Preliminary research on insect diversity at Kulen Promtep Wildlife Sanctuary, Cambodia. *Insight: Cambodia Journal of Basic and Applied Research*, 1(1), 16–48.
- Sri, A., Sumah, A. S. W., & Kusumadinata, A. A. (2024). Diurnal beetles around Universitas Muhammadiyah Palembang. *AGRINUS: Jurnal Agro Marin Nusantara*, 1(1), 9–17.
- Subedi, B., Stewart, A. B., Neupane, B., Ghimire, S., & Adhikari, H. (2021). Butterfly species diversity and their floral preferences in the Rupa Wetland of Nepal. *Ecology and Evolution*, 11(5), 2086-2099.
- Suheriyanto, D. (2008). *Ekologi serangga*. Malang: UIN-Maliki Press

- Sultana, R., Soomro, N., & Wagan, M. S. (2020). Description of new species of *Oxya* from Pakistan with comparison to a close ally (Oxyinae: Acrididae: Orthoptera). *Pakistan Journal of Zoology*, 52(5), 1871-1876.
- Susilawati, G. I., & Indriati, G. (2020). Pengaruh agroekosistem pertanaman kopi terhadap keanekaragaman dan kelimpahan semut (Formicidae). *Tanaman Industri Dan Penyegar*, 7, 9-18.
- Supriyadi, S., Dzikrillah, F. D., Arniputri, R., & Wijayanti, R. (2020). The effect of shade trees in the coffee ecosystem to the population and diurnal activity of insect pollinators. *Revista Internacional on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(4), 1743–1749.
- Tannous, M., Stefanini, C., & Romano, D. (2023). A deep-learning-based detection approach for the identification of insect species of economic importance. *Insects*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/insects14020148>
- Taradipha, M. R. R., Rushayati, S. B., & Haneda, N. F. (2019). Environmental characteristic of insect community. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 9(2), 394–404. <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.2.394-404>
- Teixeira, A. C., Ribeiro, J., Morais, R., Sousa, J. J., & Cunha, A. (2023). A systematic review on automatic insect detection using deep learning. *Agriculture (Switzerland)*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/agriculture13030713>
- Thakkar, B., Parmar, S., & Parikh, P. (2015). Study on diversity of Orthoptera fauna in South Gujarat, India. *International Journal of Pure and Applied Zoology*, 3(4), 368-374.
- Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (2005). *Borror and DeLong's introduction to the study of insects (7th ed.)*. Belmont, CA: Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Tustiyani, I., Utami, V. F., & Tauhid, A. (2020). Identifikasi keanekaragaman dan dominasi serangga pada tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus* L.) dengan teknik yellow trap. *Agritrop: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 18(1), 89–97.
- Unto, M. E., Kesaulya, H., & Rahardjo, S. H. (2025). Karakterisasi morfologi dan analisis kluster aksesori kopi (*Coffea* sp.) asal Seram Bagian Selatan, Indonesia. *Jurnal Budidaya Pertanian*, 21(1), 111–124.
- Utari, A., Maharani, Y., & Sudarjat, S. (2024). Keanekaragaman serangga dan fungsinya pada tiga tipe perkebunan kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) di Kecamatan Pangalengan, Kabupaten Bandung. *Agrikultura*, 35(3), 494–505.

- Vaidya, C., Cruz, M., Kuesel, R., Gonthier, D. J., Iverson, A., Ennis, K. K., & Perfecto, I. (2017). Local and landscape constraints on coffee leafhopper (Hemiptera: Cicadellidae) diversity. *Journal of Insect Science*, 17(2), 38.
- Verma, R. C., Waseem, M. A., Sharma, N., Bharathi, K., Singh, S., Rashwin, A. A., Pandey, S. K., & Singh, B. V. (2023). The role of insects in ecosystems: An in-depth review of entomological research. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10), 4340–4348.
<https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i103110>
- Washliyah, S., Junaidi, H., Tomia, S., Rumaf, F., Sudaryati, N. L. G., Febrilina, K. S., Mappau, Z., Wulandari, E. Y., Hidayati, L., & Kusariana, N. (2024). *Entomologi*. Bandung: CV Media Sains Indonesia.
- Wijekoon, C. D., Duarte, A., & Neto, L. (2025). The Potential Risk of *Bactrocera dorsalis* (Tephritidae) Invasion into the Fruit Industry in the Iberian Peninsula: A Review. *Insects*, 16(9), 969.
- Withaningsih, S., Ilmi, B. F., & Parikesit, P. (2024). Correlation between flying insect diversity and environmental factors in various land use types in Paseh District, Sumedang Regency, West Java. *Diversity*, 17(1), 2.
- Wong, M. K., & Didham, R. K. (2024). Global meta-analysis reveals overall higher nocturnal than diurnal activity in insect communities. *Nature Communications*, 15(1), 3236.
- Wu, T., He, S., Liu, J., Sun, S., Liu, K., Han, Q. L., & Tang, Y. (2023). A brief overview of ChatGPT: The history, status quo and potential future development. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 10(5), 1122–1136.
- Yi, Z., Jinchao, F., Dayuan, X., Weiguo, S., & Axmacher, J. C. (2012). A comparison of terrestrial arthropod sampling methods. *Journal of Resources and Ecology*, 3(2), 174-182.
- Zenda, S., Mahi, A. K., Evizal, R., & Syam, T. (2013). Evaluasi Lahan Kualitatif dan Kuantitatif Tanaman Kopi Robusta di Kelompok Tani Bina Karya, Kabupaten Pesawaran. *Jurnal Agrotek Tropika*, 1(2).
- Zhang, D. D., Liang, G. M., & Donkersley, P. (2021). Analysis of phototactic responses in Spodoptera frugiperda using Helicoverpa armigera as control. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3), 821–828.
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63383-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63383-4)
- Zhao, F., Hao, M., Yue, Q., Lin, S., Zhao, X., Zhang, C., ... & von Gadow, K. (2024). Community diversity and composition affect ecosystem multifunctionality across environmental gradients in boreal and temperate forests. *Ecological Indicators*, 159, 111692.

Zhu, J. J., Jiang, J., Yang, M., & Ren, Z. J. (2023). ChatGPT and environmental research. *Environmental Science & Technology*, 57(46), 17667-17670.