

## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI DAN KERANGKA PEMIKIRAN**

#### **A. Kajian Teori**

##### **1. Keanekaragaman**

Keanekaragaman hayati merupakan konsep luas yang mencakup tingkat keanekaragaman di alam, termasuk frekuensi dan jumlah variasi dalam suatu sistem ekologis. Istilah ini umumnya merujuk pada keberagaman flora, fauna, serta mikroorganisme, beserta gen yang dimilikinya dan ekosistem tempat mereka berinteraksi (Rawat & Agarwal 2015). Ruang lingkup keanekaragaman hayati meliputi tiga tingkatan utama keanekaragaman genetik (variasi gen dalam satu spesies), keanekaragaman spesies (jumlah dan jenis spesies), serta keanekaragaman ekosistem (Khush, 2023).

Keanekaragaman hayati dimulai dari yang terendah adalah keanekaragaman genetik kemudian spesies, dan ekosistem. Keanekaragaman genetik merujuk pada variasi gen dalam satu spesies, misalnya perbedaan warna bulu pada ayam kampung atau variasi rasa dan bentuk buah dari tanaman mangga (Geburek *et al.*, 2023). Keanekaragaman spesies adalah banyaknya jenis makhluk hidup yang berbeda di suatu wilayah, contohnya keberadaan harimau, gajah, dan burung cendrawasih di satu hutan (Liu *et al.*, 2024). Sementara itu, keanekaragaman ekosistem mencakup beragamnya tipe habitat dan komunitas makhluk hidup, seperti hutan hujan tropis, padang rumput, dan terumbu karang yang masing-masing memiliki ciri khas dan spesies yang berbeda-beda. Ketiga tingkatan ini saling berhubungan dan bersama-sama membentuk fondasi keanekaragaman hayati yang penting untuk menjaga keseimbangan dan fungsi ekosistem.

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara dengan keanekaragaman hayati tertinggi di dunia, baik dari segi flora maupun fauna. Kekayaan flora Indonesia tercermin dari lebih dari 30.000 spesies tumbuhan, termasuk banyak jenis endemik

yang hanya ditemukan di wilayah tertentu, seperti anggrek *Dendrobium transversilobum* dan *Bulbophyllum septemtrionale* di Papua Barat Daya (Sun *et al.*, 2024). Indonesia juga memiliki fauna yang beragam dengan menjadi habitat bagi lebih dari 1.500 spesies burung yang diantaranya merupakan burung khas yang hanya ada di Indonesia seperti burung cendrawasih di Papua dan Komodo dari Nusa Tenggara Timur (Rintelen *et al.*, 2017). Indonesia juga memiliki ekosistem perairan yang baik dibuktikan dari 240 spesies yang hidup pada ekosistem mangrove tempat tinggal ratusan jenis ikan, reptil hingga buaya seperti yang ada di Kalimantan dan Papua (Hukubun, 2024). Keanekaragaman hayati ini tersebar di berbagai ekosistem, mulai dari hutan hujan tropis, pegunungan, rawa gambut, hingga terumbu karang, menjadikan Indonesia sebagai pusat keanekaragaman hayati dunia dengan banyak spesies unik dan langka yang perlu dilestarikan.

Keanekaragaman hayati memberikan manfaat yang sangat besar bagi ekosistem, manusia, dan kehidupan secara umum. Keanekaragaman hayati menjaga fungsi dan stabilitas ekosistem, seperti meningkatkan produktivitas, efisiensi penggunaan nutrisi, serta ketahanan terhadap perubahan lingkungan (Yun *et al.*, 2023). Bagi manusia, keanekaragaman hayati menjadi sumber seperti utama pangan, obat-obatan, dan bahan baku industri, serta menyediakan jasa ekosistem penting seperti penyerbukan, penyaringan air, dan pengendalian hama (Hodgins, 2020). Selain itu, keanekaragaman hayati juga berperan dalam menjaga kualitas udara dan air, mendukung pengaturan iklim, serta memberikan nilai budaya, rekreasi, dan kesehatan bagi masyarakat. Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa keanekaragaman hayati merupakan fondasi utama bagi kelangsungan hidup dan keseimbangan ekosistem di bumi, bentuk komitmen bersama agar keanekaragaman hayati dapat terus dijaga untuk mendukung kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya, baik saat ini maupun di masa mendatang.

Dalam penelitian biodiversitas, keanekaragaman hayati tidak hanya dijelaskan secara deskriptif tetapi juga dapat diukur menggunakan berbagai indeks ekologi. Salah satu indeks yang paling umum dan banyak digunakan adalah indeks *Shannon-Wiener* ( $H'$ ), yang mengukur keanekaragaman berdasarkan dua komponen utama yaitu jumlah

spesies (*richness*) dan proporsi individu tiap spesies (*evenness*) dalam komunitas tertentu (Magurran, 2004).

Indeks H' digunakan untuk menggambarkan tingkat keanekaragaman komunitas makhluk hidup di suatu habitat. Nilai H' yang tinggi menunjukkan bahwa komunitas tersebut memiliki banyak spesies dan sebaran jumlah individu yang relatif merata, yang biasanya mencerminkan ekosistem yang stabil dan minim gangguan. Sebaliknya, nilai H' yang rendah dapat menunjukkan adanya tekanan ekologis, dominansi spesies tertentu, atau rendahnya keberagaman. Sebagai pelengkap, digunakan pula indeks pemerataan (*Evenness*) untuk melihat apakah spesies yang ada dalam suatu komunitas memiliki jumlah individu yang relatif seimbang.

Nilai E berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai mendekati 1 menunjukkan pemerataan yang tinggi. Sedangkan indeks dominansi (D) digunakan untuk mengetahui apakah komunitas didominasi oleh satu atau beberapa spesies saja. Semakin tinggi nilai D, semakin kuat dominasi spesies tertentu dalam komunitas tersebut. Ketiga indeks ini H', E, dan D digunakan secara bersama-sama dalam penelitian ini untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai struktur komunitas kupu-kupu di Taman Lalu Lintas Kota Bandung, serta untuk menilai sejauh mana tekanan lingkungan memengaruhi keanekaragaman spesies di ruang terbuka hijau perkotaan.

## **2. Kupu-kupu (*Lepidoptera*)**

Kupu-kupu adalah serangga yang termasuk dalam ordo *Lepidoptera*, yang memiliki ciri khas berupa sayap bersisik dan tubuh yang dilindungi oleh eksoskeleton, yaitu lapisan keras yang melindungi organ-organ vitalnya. Kupu-kupu mengalami metamorfosis sempurna, di mana bentuk larva (ulat) dan dewasa sangat berbeda satu sama lain (Ford, 1986).

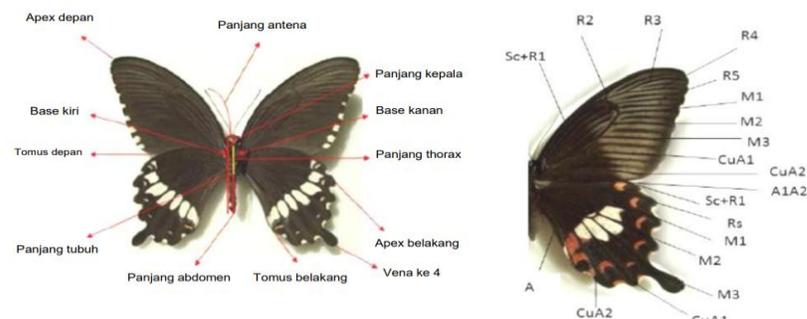
### **a. Definisi dan Ciri Khusus Kupu-kupu (*Lepidoptera*)**

Kupu-kupu termasuk dalam ordo *Lepidoptera* dikenal karena warna-warnanya yang mencolok dan struktur sayapnya yang halus. Mereka tidak hanya dikagumi karena keindahan estetikanya, tetapi juga menjadi subjek penting dalam studi ekologi dan evolusi. Ciri khas kupu-kupu meliputi pola sayap yang unik, siklus hidup, dan peran

ekologisnya. Ciri-ciri ini sangat penting untuk memahami kemampuan adaptasi dan strategi bertahan hidup mereka di berbagai lingkungan.

Sayap kupu-kupu tersusun dari sisik-sisik kecil yang membentuk pola dan warna mencolok sehingga memberikan tampilan yang memukau sekaligus berfungsi sebagai alat komunikasi, perlindungan, dan penarik pasangan (Briscoe, 2017). Selain itu, kupu-kupu memiliki mata majemuk yang dilengkapi dengan berbagai reseptor warna, memungkinkan mereka untuk membedakan lebih banyak warna dibandingkan manusia (Arikawa, 2017). Salah satu ciri khas lainnya adalah antena berbentuk gada yang ramping dengan ujung membulat, berfungsi sebagai alat sensorik untuk mendeteksi bau dan getaran di sekitarnya. Kupu-kupu juga dikenal melalui siklus hidupnya yang mengalami metamorfosis sempurna, dimulai dari telur, larva (ulat), pupa (kepompong), hingga menjadi individu dewasa yang bersayap. Setiap tahap perkembangan ini memiliki bentuk dan fungsi yang berbeda-beda (Cook *et al.*, 2022). Banyak spesies kupu-kupu memiliki pola dan ornamen unik di sayapnya, seperti bintik mata atau warna iridesen, yang berfungsi untuk mengelabui predator atau menarik pasangan. Kupu-kupu dapat ditemukan di berbagai habitat, mulai dari hutan, padang rumput, hingga lahan pertanian, dan memiliki adaptasi khusus terhadap lingkungan serta tumbuhan inang (Middleton & Welling, 2020). Keindahan, kemampuan penglihatan warna yang luar biasa, serta siklus hidup yang unik menjadikan kupu-kupu sebagai salah satu serangga paling menarik sekaligus berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem sebagai penyerbuk alami.

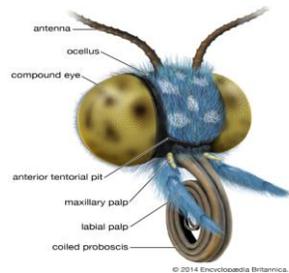
### b. Morfologi dan Anatomi Kupu-kupu (*Lepidoptera*)



**Gambar 2.1** Morfologi Kupu-kupu (*Lepidoptera*)  
(Sumber: Makhzhuni *et al.*, 2013)

Kupu-kupu (*Lepidoptera*) dibagi menjadi bagian tubuh utama yaitu kepala, dada (*thorax*) dan perut (abdomen). Kepalanya memiliki sepasang antena sebagai indra peraba dan perasa, mata majemuknya berfungsi untuk mengenali warna dan gerakan. Kupu-kupu (*Lepidoptera*) memiliki enam kaki dan alat mulut berupa probosis yang digunakan untuk menghisap nektar (Rohman *et al.*, 2019). *Thorax* merupakan tempat melekatnya kaki dan sayap, sedangkan organ reproduksi dan spirakel (lubang pernapasan) berada di bagian abdomen. Memiliki sayap yang bervariasi bentuk dan ukurannya yang penting dalam kemampuan adaptasi dan terbang.

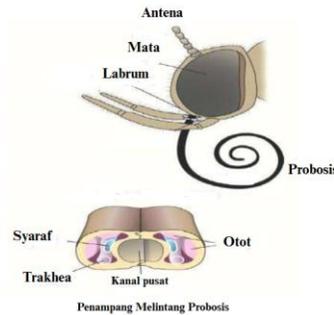
### 1) Kepala Kupu-kupu (*Lepidoptera*)



**Gambar 2.2** Morfologi Kepala  
(Sumber: *Encyclopedia Britannica. Inc*, 2014)

Kepala kupu-kupu (*Lepidoptera*) terdiri atas bagian kecil lainnya yaitu antena, mulut, dan mata. Terdapat satu pasang antena pada bagian mata majemuk yang lebih tepatnya terdapat di antara kedua mata majemuk yang memanjang ke atas. Selain itu, berguna sebagai alat penciuman. Bentuk antenanya memanjang dan ramping dan ujungnya disebut pectinate. Tipe alat mulut pada kupu-kupu (*Lepidoptera*) imago adalah mengisap, yang dilengkapi dengan probosis. Probosis terdiri dari sepasang organ berbentuk tabung yang memanjang digunakan untuk menghisap nektar dari bunga. Ketika probosis tidak terpakai maka probosis akan tergulung ke bagian bawah kepala. Mata majemuk kupu-kupu (*Lepidoptera*) terdiri atas mata ocelli (mata tunggal) atau sepasang ukurannya relatif besar dan banyak mata facet (ommatidia), untuk mengenali bentuk, warna, dan gerakan. Mata tunggal sendiri berguna sebagai pendeteksi intensitas cahaya (Ruslan *et al.*, 2021).

### a) Probosis (Alat Penghisap Nektar)



**Gambar 2.3** Morfologi probosis Kupu-kupu (*Lepidoptera*)  
(Sumber: Smetacek, 2000)

Probosis adalah alat penghisap nektar utama pada kupu-kupu dan serangga penghisap cairan lainnya. Struktur ini sangat khusus dan memungkinkan kupu-kupu mengakses nektar dari berbagai jenis bunga, bahkan yang memiliki tabung bunga sangat dalam. Probosis terdiri dari dua bagian utama di ujungnya, yaitu bagian adhesi (melekat) dan bagian hisap (*suction*). Cairan menempel pada bagian adhesi lalu dihisap melalui bagian hisap yang terendam dalam cairan dan terhubung ke saluran makanan (Monaenkova *et al.*, 2012). Probosis memiliki struktur pori-pori berukuran nano dan mikro yang memungkinkan penyerapan cairan dari berbagai sumber termasuk nektar, buah busuk, dan tanah basah. Struktur ini memfasilitasi penarikan cairan secara kapiler sebelum dihisap oleh pompa otot di kepala (Lee *et al.*, 2017).

Adapun kupu-kupu mengambil cairan nektar dengan dua cara yaitu melalui penyerapan kapiler yaitu cairan ditarik ke dalam saluran makanan melalui pori-pori dan penghisapan aktif yaitu cairan dihisap ke dalam tubuh dengan bantuan pompa otot di kepala (Krenn, 2019). Pompa hisap yang berada di kepala akan menciptakan gradien tekanan yang menarik cairan dari ujung probosis ke saluran makanan dan masuk ke saluran pencernaan (Karolyi *et al.*, 2013). Proses penghisapan ini memiliki sifat hidrofilik terutama pada bagian adhesi dan membantu efisiensi pengambilan cairan hingga ke tempat yang sulit dijangkau. Panjang dan diameter probosis bervariasi sesuai dengan jenis bunga yang dihisap. Probosis yang sangat panjang memungkinkan akses ke nektar di bunga bertubuh panjang (Krenn *et al.*, 2021).

## b) Antena



**Gambar 2.4** Antena Kupu-kupu (*Lepidoptera*)  
(Sumber: Triplehorn *et al.*, 2005)

Antena pada kupu-kupu adalah organ sensorik utama yang sangat penting untuk mendeteksi bau, rasa, dan rangsangan lingkungan lainnya. Struktur dan fungsi antena sangat berperan dalam perilaku mencari makan, navigasi, serta komunikasi antar individu. Berbentuk ramping, panjang dan memiliki ujung menebal seperti patung (*clavate*) dan terletak di bagian kepala yang menonjol kedepan berjumlah satu pasang kanan dan kiri. Antena berfungsi sebagai alat penciuman utama, mendeteksi feromon, bau bunga, dan zat kimia lain di udara. Ini sangat penting untuk menemukan makanan (nektar) dan pasangan kawin (Lou *et al.*, 2024). Selain penciuman, antena juga berfungsi sebagai alat peraba dan membantu kupu-kupu menjaga keseimbangan saat terbang.

Saat kupu-kupu terbang dan menggerakkan sayapnya akan terjadi peningkatan deteksi bau lewat aliran udara yang memperkuat sirkulasi di sekitar antena. Interaksi antara pusaran udara dari sayap dan antena meningkatkan fluktuasi intensitas bau yang diterima antena hingga 4 kali lipat, sehingga kupu-kupu lebih efektif dalam melacak sumber bau dan menghindari kelelahan penciuman (*odour fatigue*). Sudut antara kedua antena dapat diubah untuk menyesuaikan antara ketahanan terhadap kelelahan penciuman dan luasnya jangkauan penciuman. Sudut lebih sempit meningkatkan ketahanan, sedangkan sudut lebih lebar memperluas area deteksi bau (Lou *et al.*, 2024). Antena kupu-kupu dapat bergerak dan menyesuaikan posisi untuk mengoptimalkan deteksi rangsangan lingkungan dengan permukaan antena dilapisi sensilla (struktur sensorik kecil) yang sangat sensitif terhadap molekul bau di udara.

### c) Mata Majemuk



**Gambar 2.5** Mata Majemuk Kupu-kupu (*Lepidoptera*)  
(Sumber : Adisak Mitprayoon, 2005)

Mata majemuk pada kupu-kupu adalah organ penglihatan utama yang sangat kompleks dan berperan penting dalam perilaku, navigasi, serta adaptasi ekologis. Mata ini terdiri dari ribuan unit kecil yang disebut ommatidia, yang masing-masing berfungsi sebagai reseptor cahaya independen. Setiap mata majemuk terdiri dari banyak ommatidia yang memiliki lensa kornea yang disebut kerucut kristalin, dan sel-sel fotoreseptor (retinula). Kristalin pada mata majemuk kupu-kupu merupakan bagian penting dari struktur ommatidia yang berperan dalam proses penerimaan cahaya dan penglihatan. Kristalin (*crystalline cone*) terletak langsung terhubung dengan rhabdom di dalam ommatidia, berfungsi sebagai saluran utama cahaya menuju sel fotoreseptor (Ling *et al.*, 2025). Panjang kristalin dan lebar nukleus sel retinula serta kristalin menunjukkan perbedaan signifikan antara kondisi terang (*light-adapted*) dan gelap (*dark-adapted*) (Ling *et al.*, 2025).

Pada kupu-kupu, biasanya terdapat sembilan sel fotoreseptor per ommatidium (Qiu *et al.*, 2002). Selanjutnya terdapat sel foto reseptor yang di dalamnya terdapat sel-sel yang mengandung pigmen visual (opsin) yang sensitif terhadap berbagai panjang gelombang cahaya, memungkinkan kupu-kupu mendeteksi warna dan cahaya dengan sangat baik. Mata majemuk juga memiliki sel pigmen dan sistem trakea yang mendukung fungsi visual yang bervariasi setiap jenisnya (Chen, 2023).

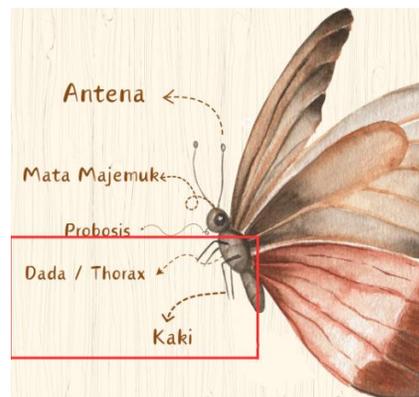
Pada kupu-kupu *Graphium sarpedon* memiliki hingga 15 jenis reseptor spektral yang berbeda, termasuk UV, violet, biru, hijau, dan merah. Ini adalah jumlah terbanyak yang pernah ditemukan pada serangga (Chen *et al.*, 2016). Pada beberapa spesies, seperti *Heliconius erato*, terdapat perbedaan antara jantan dan betina dalam jumlah dan

jenis reseptor UV, yang memengaruhi kemampuan membedakan warna yang berkaitan dengan perilaku kawin dan identifikasi tanaman inang (McCulloch *et al.*, 2016). Terdapat variasi bentuk dan fungsi ommatidium di berbagai bagian mata yang mendukung kemampuan diskriminasi warna dan adaptasi terhadap lingkungan.

Mata majemuk ini banyak mengalami adaptasi fungsional dan fisiologis termasuk penyesuaian terhadap cahaya. Struktur internal mata dapat berubah tergantung pada kondisi terang atau gelap, seperti pergerakan butiran pigmen untuk mengatur jumlah cahaya yang masuk ke ommatidium (Ling *et al.*, 2025). Selain itu, terjadi transformasi optik ketika Proses transformasi pola difraksi pada lensa kornea ke mode dasar rhabdom (bagian penerima cahaya) sangat efisien, didukung oleh variasi indeks bias dan penyerapan cahaya di dalam ommatidium (Kim, 2014).

Mata majemuk dapat digunakan sebagai navigasi dan dispersal (penyebaran) terutama pada spesies yang hidup di habitat terfragmentasi (Turlure *et al.*, 2016). Variasi struktur mata, seperti pola trakea dan jumlah sel retinula, dapat digunakan untuk memahami hubungan evolusi antar spesies kupu-kupu.

## 2) Thorax



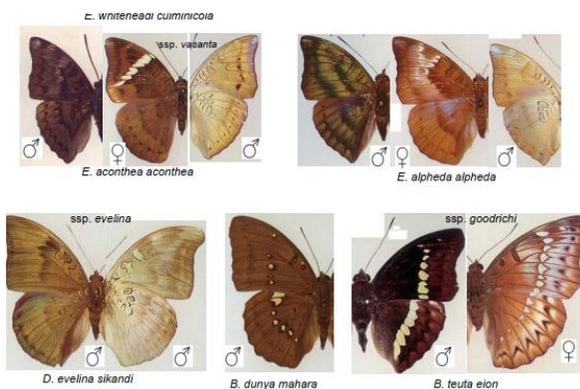
**Gambar 2. 6** Bagian Thorax Kupu-kupu (*Lepidoptera*)  
(Sumber: canva free source, 2025)

Thoraks pada kupu-kupu adalah bagian tengah tubuh yang sangat penting karena menjadi pusat perlekatan sayap dan kaki, serta mengandung otot-otot utama untuk terbang dan bergerak. Thoraks berperan penting dalam mendukung aktivitas terbang, mencari makan, dan perilaku lainnya. Thorax memiliki struktur berupa segmen yang

terdiri dari tiga bagian utama yaitu prothoraks (depan), mesothoraks (tengah), dan metathoraks (belakang). Thorax bertugas sebagai perletakan kaki dan sayap yaitu setiap segmennya memiliki sepasang kaki yang mana terdapat enam kaki kupu-kupu yang ada pada setiap sela thoraxnya digunakan untuk berjalan, hinggap, dan sepasang sayap yang berada di depan dan belakang yang menempel pada mesothoraks dan metathoraks.

Thorax berfungsi sebagai pusat otot terbang karena mengandung otot-otot besar yang menggerakkan sayap, memungkinkan kupu-kupu terbang dengan efisien serta menjadi penggerak kaki untuk berjalan, hinggap, dan memegang permukaan (Deora *et al.*, 2017). Pada *thorax* terdapat spirakel, yaitu lubang pernapasan yang menghubungkan sistem trakea dengan udara luar, yang penting untuk pertukaran gas. *Thorax* juga menjadi pusat koordinasi gerak karena terdapat ganglion saraf yang mengatur aktivitas otot-otot sayap dan kaki

### 3) Sayap



**Gambar 2.7** Sayap Kupu-kupu (*Lepidoptera*)  
(sumber: Dr. Christian H. Schulze, 2012)

Sayap kupu-kupu adalah struktur yang sangat kompleks dan multifungsi, berperan penting dalam terbang, regulasi suhu, komunikasi visual, dan adaptasi evolusioner. Penelitian terbaru mengungkapkan berbagai aspek fisik, fisiologis, dan genetik yang mendasari keunikan sayap kupu-kupu. Sayap kupu-kupu memiliki beberapa struktur yang sudah teradaptasi bentuknya. Sayap kupu-kupu berkomposisi matriks sel hidup yang membutuhkan suhu optimal agar berfungsi. Terdapat sistem sirkulasi, saraf, dan trakea yang menjaga sayap tetap dinamis sepanjang hidup. Sayap ini juga berperan

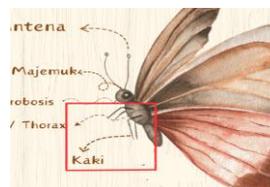
sebagai nanostruktur untuk menciptakan distribusi pendinginan dan membantu pencegahan *overheating* pada vena dan organ androconial (Tsai *et al.*, 2020). Meskipun terkenal memiliki warna yang cantik ada beberapa spesies yang warnanya cukup transparan sehingga cahaya dapat menembus sayap dan meningkatkan sinyal saat terbang yang berfungsi sebagai alat berkamuflase (Stavenga *et al.*, 2023a).

Warna sayap kupu-kupu tercipta dari kombinasi pigmen, struktur mikro, pada beberapa jenis spesies cairannya berada di sayap spesies. Cairan ini mengandung hemolimfa, bilin, dan karotenoid yang menciptakan warna hijau cerah (Stavenga *et al.*, 2023). Pola dan warna yang beragam dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan. Evolusi pola sayap melibatkan beberapa gen kunci dan proses koptasi gen, menghasilkan inovasi morfologi dalam kerangka perkembangan yang terkontrol (Beldade & Brakefield, 2002).

Saat terbang sayap kupu-kupu akan membentuk posisi seperti orang tepuk tangan yang disebut *Clap* karena memiliki sayap yang fleksible sehingga kedua sayap dapat menutup dan menciptakan dorongan ke depan (Johansson, 2021). Bentuk sayap kupu-kupu sangat bervariasi dan ini mempengaruhi gaya angkat, hambatan, dan efisiensi terbang termasuk dalam melakukan manuver maupun terbang jelajah atau jauh (Chang *et al.*, 2023).

Kupu-kupu dapat mengatur suhu tubuh atau termoregulasi lewat kontrol struktur mikro yang memancarkan panas secara selektif. Emisivitas inframerah yang tinggi pada spesies dari iklim panas membantu mendinginkan sayap, sedangkan spesies dari iklim dingin cenderung mempertahankan panas. Perilaku ini dilakukan untuk mencegah *Overheating* dengan mengubah posisi sayap dan respon terhadap radiasi cahaya (Tsai *et al.*, 2020).

#### 4) Kaki

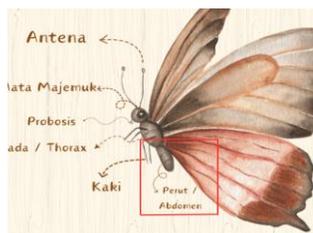


**Gambar 2. 8** Bagian Kaki Kupu-kupu (*Lepidoptera*)  
(sumber: Canva *free source*, 2025)

Kupu-kupu memiliki tiga pasang (enam) kaki yang melekat pada bagian thoraks. Setiap kaki terdiri dari beberapa segmen utama *coxa* (pangkal), *trochanter*, *femur* (paha), *tibia* (betis), dan *tarsus* (telapak kaki). Pada ujung tarsus terdapat cakar yang membantu kupu-kupu menempel pada permukaan. Kaki kupu-kupu dilengkapi dengan berbagai jenis sensilla, yaitu struktur sensorik halus yang berfungsi sebagai reseptor untuk mendeteksi rangsangan kimia dan mekanik dari lingkungan. Sensilla ini sangat penting untuk membantu kupu-kupu mengenali permukaan, mendeteksi makanan, dan merespons lingkungan sekitar. Sensilla sendiri memiliki beberapa macam ada sensilla trichoides, basiconica, chaetica, campaniform, dan pit sensilla, yang tersebar di berbagai bagian kaki. Sensilla basiconica pada segmen tarsus sangat khusus untuk fungsi olfaksi dan kemoresepsi, sedangkan sensilla chaetica dengan ujung seperti sendok ditemukan di persendian tibia-tarsus.

Pada beberapa keluarga kupu-kupu seperti *Nymphalidae*, kaki depan (prothoraks) mengalami reduksi ukuran, terutama pada jantan yang bahkan kehilangan beberapa bagian kaki. Pada betina, kaki depan tetap berfungsi, terutama untuk “drumming” atau mengetuk permukaan tanaman inang saat memilih tempat bertelur. Tarsus betina biasanya memiliki sensilla chaetica dan trichodea yang berperan dalam mendeteksi senyawa kimia tanaman inang dan tarsus jantan biasanya kehilangan sensilla karena mengalami fusi segmen sehingga alat sensorik tidak lagi berfungsi.

## 5) Abdomen



**Gambar 2. 9** Bagian Abdomen Kupu-kupu (*Lepidoptera*)  
(Sumber: canva free source, 2025)

Abdomen kupu-kupu merupakan bagian tubuh belakang yang memiliki peran penting dalam berbagai fungsi fisiologis, reproduksi, dan juga berkontribusi pada performa terbang. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa gerakan dan struktur

abdomen sangat memengaruhi efisiensi, stabilitas, serta strategi bertahan hidup kupu-kupu. Abdomen terdiri dari segmen yang beranggotakan organ vital seperti pencernaan, penyimpanan makanan, organ reproduksi, dan sistem ekskresi (Srygley, 1990). Selama kegiatan terbang abdomen bergerak secara osilasi atau bergelombang untuk meningkatkan daya angkat (*lift*) dan dorong (*thrust*). Pergerakan ini membantu mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan stabilitas saat terbang sehingga dapat memperpanjang durasi terbang dan mudah dalam memaanuver tubuh (Luo *et al.*, 2025). Nantinya abdomen akan terkoordinasi dengan thorax dalam memperkuat kecepatan kepak sayap dan memperbesar sudut sayap sehingga meningkatkan *aerodinamika* (Yang *et al.*, 2020).

Tidak hanya bekerja dalam membantu saat terbang abdomen juga membantu kegiatan alokasi sumber daya karena sebagai tempat penyimpanan utama energi dan nutri untuk bereproduksi. Betina memiliki proporsi karbon dan nitrogen lebih tinggi dibanding jantan karena harus memproduksi dan meningkatkan jumlah telur yang dihasilkan (Wickman & Karlsson, 1990; Wickman & Karlsson, 1989). Pada beberapa spesies abdomen berperan sebagai bentuk pertahanan diri karena menyimpan senyawa glikosida yang menyebabkan muntah bagi predator seperti pada kupu-kupu *Monarch* (Glazier & Brower, 1975).

### **c. Sistem Pencernaan**

Sistem pencernaan pada kupu-kupu memiliki struktur dan fungsi yang unik, menyesuaikan dengan pola makan dan kebutuhan fisiologisnya. Selain mencerna makanan, sistem ini juga berinteraksi erat dengan mikroorganisme usus yang dapat memengaruhi kesehatan dan metabolisme kupu-kupu. Sistem pencernaan kupu-kupu terdiri atas mulut, esofagus, lambung (midgut), usus belakang (hindgut), dan anus. Pada beberapa spesies, terdapat organ khusus seperti bursa copulatrix pada betina yang berfungsi mencerna spermatofor setelah kawin (Clark *et al.*, 2015). Tidak hanya manusia kupu-kupu juga menghasilkan enzim seperti amilase, protease, dan lipase. Amilase berperan paling dominan dalam mencerna gula dari nektar, sedangkan protease dan lipase berperan dalam pencernaan protein dan lemak (Saptarini *et al.*, 2021).

Usus kupu-kupu dihuni oleh berbagai bakteri dan jamur, yang komposisinya berbeda-beda antar individu, spesies, dan jenis makanan (frugivora dan nektivora) (Boggs *et al.*, 2019; Hsu *et al.*, 2022). Bakteri ini membantu mencerna senyawa sesuai dengan yang dikonsumsi. Kupu-kupu pemakan buah memiliki mikrobiota yang lebih mampu mencerna asam amino, sedangkan pemakan nektar lebih efisien mencerna gula (Boggs *et al.*, 2019). Meski begitu mereka tidak tergantung dengan mikroba usus berbeda dengan serangga lainnya (Kunte *et al.*, 2019; Saastamoinen *et al.*, 2020; , 2019).

Kupu-kupu jenis *Monarch* pada usus mampu menyerap senyawa toksik (kardenolid) dari makanan dengan sangat cepat, yang kemudian digunakan sebagai mekanisme pertahanan diri (Höglinger *et al.*, 2025). Adapula kupu-kupu yang bersimbiosis dengan ragi atau *yeast* pada saluran pencernaannya yang sudah terpengaruh oleh perilaku makan dan kegiatan migrasi (Hsu *et al.*, 2022).

#### **d. Sistem Pernafasan**

Sistem pernapasan pada kupu-kupu merupakan adaptasi khusus serangga yang memungkinkan pertukaran gas secara efisien tanpa paru-paru. Sistem ini terdiri dari jaringan spirakel dan trakea yang menyuplai oksigen langsung ke jaringan tubuh, serta mengeluarkan karbon dioksida. Kupu-kupu memiliki spirakel berjumlah 9 pasang dengan lubang pernapasan kecil di sisi tubuhnya. Dua pasang berada di thorax (dada) dan tujuh pasang di abdomen (perut). Spirakel ini dapat membuka dan menutup untuk mengatur masuk-keluarnya udara serta mencegah kehilangan air. Spirakel ini terhubung dengan sistem trakea berupa tabung halus bercabang ke seluruh area tubuh. Trakea di bagian preabdominal tipis dan mudah kolaps, sedangkan di abdomen lebih tebal dan kuat. Air sac (kantong udara) banyak ditemukan di preabdominal dan berfungsi sebagai cadangan udara. Beberapa trakea tidak langsung menuju organ, melainkan menghubungkan satu trakea ke trakea atau air sac lain, membantu distribusi udara lebih efisien (Srivastava, 1976).

Pola pertukaran gas terbagi menjadi dua yaitu *Continuous Gas Exchange* (CGE) dan *Discontinuous Gas Exchange* (DGE). CGE terjadi saat kondisi aktif, kupu-kupu melakukan pertukaran gas secara terus-menerus melalui spirakel yang terbuka

(Lehmann *et al.*, 2023). Sedangkan DGE terjadi saat istirahat panjang, misal saat musim dingin, kupu-kupu menutup spirakel dalam waktu lama dan hanya membuka sesekali untuk pertukaran gas. Ini dapat membantu menekan metabolisme dan mengurangi kehilangan air (Lehmann *et al.*, 2023).

Pada kupu-kupu dengan probosis yang Panjang pertukaran gas di belalai dibantu oleh adanya mikropori di permukaan probosis dan trakea superhidrofobik, sehingga oksigen tetap dapat berdifusi secara efisien meski jarak jauh (Wei *et al.*, 2023). Namun, Hanya spirakel thoraks kedua yang memiliki mekanisme penutup eksternal, sedangkan lainnya menggunakan mekanisme internal untuk mengatur pertukaran gas (Srivastava, 1976).

Dengan adanya batasan sistem pernafasan ini membantu kupu-kupu melakukan efisiensi sehingga ketersediaan oksigen bukan faktor pembatas utama dalam menghadapi suhu ekstrem atau aktivitas tinggi (Terblanche *et al.*, 2019). Terlebih pada fase larva sistem trakea memicu pergantian kulit (*moulting*) dan kebutuhan oksigen meningkat seiring pertumbuhan (Kivelä *et al.*, 2016).

#### **e. Sistem Reproduksi**

Sistem reproduksi kupu-kupu sangat kompleks dan melibatkan interaksi fisiologis serta perilaku antara jantan dan betina. Proses reproduksi ini mencakup transfer spermatofor, pemrosesan di organ khusus betina, serta strategi alokasi sumber daya untuk mendukung produksi telur dan keturunan. Kupu-kupu memiliki spermatofor dan bursa copulatrix yang mana bekerja selama kopulasi yang nantinya kupu-kupu jantan akan memindahkan spermatofor berisikan sperma dan zat nutrisi ke dalam organ betina yang disebut bursa copulatrix. Bursa copulatrix berfungsi menerima, menyimpan, dan pada banyak spesies juga mencerna spermatofor untuk mengambil nutrisinya (Morehouse *et al.*, 2019; Cordero *et al.*, 2022; Clark *et al.*, 2015). Setelah spermatofor diproses, sperma disimpan di spermatheca, organ khusus untuk penyimpanan sperma sebelum pembuahan (Cordero *et al.*, 2022). Pencernaan spermatofor menghasilkan enzim protase dari bursa copulatrix yang berfungsi untuk mencerna spermatofor. Kegiatan menghasilkan enzim ini akan menyesuaikan keadaan kupu-kupu saat kupu-kupu tersebut masih perawan aktivitasnya cenderung tinggi dan ketika sudah kawin

siklusnya mulai dinamis (Morehouse *et al.*, 2019; Clark *et al.*, 2015). Pada beberapa spesies, spermatofor tidak dicerna dan hanya berfungsi sebagai media transfer sperma (Cordero *et al.*, 2022).

Hampir seperti manusia ketika kekuatan tubuh sudah tidak mendukung karena cadangan lemak habis dan jumlah dan berat telur yang dihasilkan betina menurun karena digunakan untuk terus bereproduksi dan habis secara bertahap (Boggs, 1986; Karlsson *et al.*, 2005). Peran kupu-kupu jantan adalah memberikan nutrisi ewat spermatofor sehingga meningkatkan produksi telur dan umur betina. Pada spesies poligini, betina yang kawin lebih sering cenderung memiliki fekunditas lebih tinggi (Terkanian *et al.*, 1987; Saastamoinen *et al.*, 2018; Wiklund & Kaitala, 1994; Bissoondath & Wiklund, 1996).

Pada kupu-kupu jantan terdapat cairan seminal yang berperan dalam fertilisasi, penyimpanan sperma, produksi telur, dan respons imun betina. Variasi dan evolusi protein ini sangat tinggi antar spesies (Walters & Harrison, 2010). Pada spesies poligami kupu-kupu jantan akan menghasilkan spermatofor yang lebih besar dan kaya protein, sedangkan betina akan mengoptimalkan pemanfaatan nutrisi lewat pengaturan aktivitas enzim di bursa copulatrix (Clark *et al.*, 2015; Bissoondath & Wiklund, 1996).

#### **f. Sistem Saraf**

Sistem saraf pada kupu-kupu merupakan jaringan kompleks yang mengatur berbagai fungsi vital, mulai dari persepsi sensorik, perilaku, hingga respons terhadap lingkungan. Sistem ini terdiri dari sistem saraf pusat (otak dan ganglia) serta sistem saraf tepi yang terhubung ke organ sensorik dan otot. Pada sistem saraf pusatnya terdiri dari otak (brain) dan rantai ganglia di sepanjang tubuh. Otak mengatur pemrosesan informasi sensorik dan perilaku kompleks, sedangkan ganglia mengontrol gerakan dan fungsi organ (Morris *et al.*, 2020; Agcaoili *et al.*, 2023). Saraf tepinya meliputi saraf yang menghubungkan otak dan ganglia ke organ sensorik (mata, antena, kaki) dan otot, memungkinkan kupu-kupu merespons rangsangan lingkungan (Agcaoili *et al.*, 2023; Carroll *et al.*, 1998).

Sistem saraf berfungsi sebagai pengolah visual dan sensorik lewat interaksi antar reseptor yang memungkinkan untuk membedakan warna dengan baik. Nantinya sistem

saraf akan memproses sinyal yang didapat dari antena, kaki dan organ lainnya untuk mencari makan dan memilih pasangan (Morris *et al.*, 2020; Kinoshita & Arikawa, 2023). Saraf tepi tepatnya pada saraf perifer yang ada pada mata dan antena akan digunakan pada indra visual dan penciuman. Selain itu menunjukkan perbedaan ekspresi gen antara jantan dan betina terkait perilaku seksual dan preferensi pasangan (Agcaoili *et al.*, 2023; Merrill *et al.*, 2022).

Pada saat suhu ekstrem sistem saraf pusat kupu-kupu akan akan terpengaruhi dan menyebabkan depolarisasi di otak yang mengakibatkan hilangnya fungsi saraf dan menyebabkan koma. Batas suhu ini berbeda-beda tergantung jenis dengan lingkungan spesies tersebut tinggal.

#### **g. Karakteristik Kupu-kupu (*Lepidoptera*)**



**Gambar 2.10** Siklus hidup Kupu-kupu (*Lepidoptera*)  
(Sumber: Canva free resource, 2025)

Karakteristik kupu-kupu sangat beragam dan mencakup aspek morfologi, fisiologi, perilaku, serta adaptasi ekologis. Penelitian terbaru telah mengidentifikasi berbagai ciri utama yang membedakan kupu-kupu dari serangga lain dan juga antar spesies kupu-kupu itu sendiri. Kupu-kupu memiliki dua tipe perilaku terbang yaitu terbang melayang (*gliding*) dan terbang mengepak (*flapping*). Perilaku ini berkaitan erat dengan bentuk sayap dan habitat, serta berbeda antara jantan dan betina (DeVries *et al.*, 2010; Linke *et al.*, 2024). Dikenal sebagai *polisorfisme* musiman setiap jenis kupu-kupu memiliki perbedaan morfologi dan perilaku terbang antara musim semi dan musim panas, seperti ukuran tubuh dan bentuk sayap yang memengaruhi kecepatan dan kelincahan terbang (Linke *et al.*, 2024). Termasuk dalam pemilihan pasangan yang memiliki perilaku khusus betina sangat menilai pada *appearance* jantan itulah

mengapa sayap jantan biasanya lebih berwarna dan berkilau karena betina akan memilih jantan dengan warna iridesen yang cerah (Kemp, 2007).

Kupu-kupu memiliki karakteristik dengan preferensi habitat spesifik seperti kanopi, tepi hutan, area lembab, atau lahan terbuka. Adaptasi ini juga mencakup toleransi terhadap suhu dan kelembapan (Lamas *et al.*, 2022; Wiemers *et al.*, 2014). Mereka juga memiliki batas toleransi suhu panas dan dingin yang berbeda-beda antar spesies, yang memengaruhi distribusi geografis dan waktu kemunculan mereka (Medina-Báez *et al.*, 2024; Wiemers *et al.*, 2014). Itulah mengapa Kupu-kupu sering digunakan sebagai indikator perubahan iklim dan kerusakan habitat karena respons mereka yang sensitif terhadap perubahan lingkungan (Medina-Báez *et al.*, 2024; Wiemers *et al.*, 2014).

### 1) Telur



**Gambar 2.11** Telur Kupu-kupu (*Lepidoptera*)  
(Sumber: Joannerusso,2020)

Telur kupu-kupu merupakan tahap awal dalam siklus hidup kupu-kupu dan memiliki karakteristik yang sangat bervariasi tergantung pada spesies, lingkungan, dan faktor fisiologis induknya. Penelitian tentang telur kupu-kupu menyoroti aspek morfologi, ukuran, adaptasi terhadap lingkungan, serta pengaruh nutrisi induk terhadap kualitas telur. Telur kupu-kupu umumnya berbentuk bulat atau oval dengan permukaan luar (korion) yang memiliki pola dan struktur mikroskopis khas. Pola ini dapat berbeda antar spesies dan digunakan dalam studi sistematika untuk membedakan spesies (Martín & García-Barros, 1995). Ukuran telur bervariasi antar spesies dan bahkan dalam satu populasi. Ada korelasi antara ukuran telur dan jumlah telur yang dihasilkan; biasanya, kupu-kupu yang bertubuh besar menghasilkan telur lebih besar dan

jumlahnya lebih banyak (Zwaan *et al.*, 2002; García-Barros, 2000; Martín & García-Barros, 1995).

Ukuran telur dapat berubah tergantung suhu lingkungan saat oviposisi. Pada suhu rendah, betina cenderung menghasilkan telur yang lebih besar namun jumlahnya lebih sedikit, sedangkan pada suhu tinggi, telur lebih kecil dan jumlahnya lebih banyak (Fischer *et al.*, 2003; Fischer *et al.*, 2005). Telur kupu-kupu sangat sensitif terhadap suhu. Spesies yang hidup di dataran tinggi memiliki toleransi panas yang lebih rendah dibandingkan spesies dataran rendah, sehingga pemilihan lokasi peletakan telur sangat penting untuk kelangsungan hidup embrio (Doniol-Valcroze *et al.*, 2024).

Kualitas dan komposisi telur sangat dipengaruhi oleh nutrisi yang didapat induk, baik saat larva maupun dewasa. Diet yang kaya karbohidrat dan nutrisi kompleks meningkatkan jumlah, ukuran, dan tingkat keberhasilan menetasnya telur (Geister *et al.*, 2008; Fogel *et al.*, 2004). Kandungan energi dan air dalam telur berhubungan dengan tingkat keberhasilan menetas, sedangkan kandungan protein, lemak, dan karbohidrat tidak selalu menjadi faktor pembatas utama (Geister *et al.*, 2008). Ukuran telur dan keberhasilan menetas juga dipengaruhi oleh kualitas tanaman inang tempat telur diletakkan. Telur yang lebih besar cenderung menghasilkan larva yang lebih kuat, terutama jika tanaman inang berkualitas rendah (Braby, 1994). Keberadaan dan kelimpahan telur kupu-kupu di suatu habitat sangat dipengaruhi oleh ketersediaan tanaman inang yang sesuai dan keanekaragaman tumbuhan berbunga di sekitarnya (Hasle *et al.*, 2024).

## 2) Larva



**Gambar 2.12** Ulat Bulu  
(Sumber: Fauzan Maududdin, 2024)

Larva kupu-kupu, yang dikenal juga sebagai ulat, merupakan tahap kedua dalam siklus hidup kupu-kupu setelah telur. Tahap ini sangat penting untuk pertumbuhan, akumulasi energi, dan adaptasi terhadap lingkungan sebelum bermetamorfosis menjadi pupa dan akhirnya dewasa. Larva biasa memiliki tubuh memanjang dan lunak, dengan variasi warna dan pola yang sangat beragam. Beberapa spesies menunjukkan warna tubuh yang dapat berubah menyesuaikan warna daun inang untuk kamuflase (*crypsis*), misalnya dari hijau ke merah yang dipengaruhi oleh warna daun yang dimakan dan juga efek maternal (Yoshida *et al.*, 2023). Tingkat kegelapan (melanisme) larva dapat dipengaruhi oleh suhu lingkungan dan musim, namun tidak ditemukan perbedaan signifikan antara populasi timur dan barat pada larva monarch liar (Davis *et al.*, 2022). Larva juga mengalami polimorfisme dan melanisme yaitu saat tingkat kegelapan (melanisme) pada larva dapat dipengaruhi oleh suhu lingkungan dan musim. Larva cenderung lebih gelap pada suhu rendah dan di akhir musim, yang dapat membantu penyerapan panas (Nibbelink *et al.*, 2022).

Larva kupu-kupu menggunakan berbagai pola tubuh untuk menghindari predator. Larva yang bersifat kriptik (menyamarkan) sering memiliki garis memanjang, sedangkan larva aposematik (beracun/menakutkan) cenderung memiliki pita horizontal atau bintik mencolok. Larva aposematik soliter lebih sering menampilkan beberapa elemen pola sekaligus (Montgomery *et al.*, 2023). Kemampuan pertahanan kimia larva sangat dipengaruhi oleh tanaman inang. Larva yang memakan tanaman dengan kandungan nitrogen tinggi namun pertahanan kimia rendah, cenderung memiliki pertahanan kimia yang lebih lemah sehingga lebih rentan terhadap predator (Prudic *et al.*, 2005).

Larva juga memiliki perilaku khusus dan adaptasi pada lingkungannya pada larva di daerah beriklim sedang harus memutuskan apakah akan berkembang langsung menjadi dewasa atau memasuki diapause (istirahat musim dingin). Keputusan ini biasanya diambil pada instar akhir dan dipengaruhi oleh panjang hari dan suhu (Friberg *et al.*, 2010). Larva juga sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Larva dari daerah pegunungan cenderung lebih baik tumbuh pada suhu yang sedikit lebih hangat dari asal induknya, namun performa menurun drastis jika suhu terlalu berbeda dari habitat asal (Sewall *et al.*, 2022). Larva sendiri dapat mewarisi preferensi bau makanan dari

induknya melalui faktor dalam hemolimfa, yang memungkinkan adaptasi terhadap perubahan sumber makanan di lingkungan (Gowri & Monteiro, 2024).

### 3) Pupa



**Gambar 2.13** Pupa sebelum menjadi Kupu-kupu (*Lepidoptera*)  
(Sumber: *Nature Picture Library*, 2000)

Pupa kupu-kupu, atau yang sering disebut kepompong, adalah tahap transisi penting dalam siklus hidup kupu-kupu antara larva (ulat) dan dewasa (imago). Pada fase ini, terjadi proses metamorfosis di mana struktur tubuh larva dirombak menjadi bentuk kupu-kupu dewasa. Pupa kupu-kupu umumnya berbentuk oval atau silindris, dengan permukaan yang bisa halus, berduri, atau memiliki tonjolan tergantung spesiesnya. Warna pupa sangat bervariasi, mulai dari hijau, coklat, hingga transparan, dan sering kali menyesuaikan lingkungan untuk kamuflase (Aarts & Elliot, 2011; Bagade *et al.*, 2020). Pupa dilindungi oleh lapisan keras (kutikula) yang berfungsi sebagai pelindung dari predator dan kondisi lingkungan. Beberapa spesies menggantungkan pupa dengan benang sutra, sementara yang lain menempel di permukaan daun atau tanah (Bagade *et al.*, 2020).

Proses metamorfosis pada pupa terjadi saat jaringan larva mengalami perombakan besar-besaran (histogenesis). Organ-organ larva dihancurkan dan dibentuk ulang menjadi organ dewasa seperti sayap, antena, dan alat reproduksi (Bagade *et al.*, 2020; Gao *et al.*, 2024). Lama fase pupa bervariasi tergantung spesies dan kondisi lingkungan, seperti suhu dan kelembapan. Pada beberapa spesies, pupa dapat memasuki fase dorman (diapause) untuk bertahan dalam kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan (Gao *et al.*, 2024).

Meskipun pupa tidak bisa bergerak namun mereka memiliki adaptasi dan perlindungan diri atau kamuflase melalui warna dan bentuk pupa yang seringnya menyerupai daun, ranting, atau tanah untuk menghindari predator. Beberapa pupa juga menghasilkan zat kimia atau memiliki struktur fisik yang membuatnya kurang menarik bagi pemangsa (Aarts & Elliot, 2011; Bagade *et al.*, 2020). Pupa sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan kelembapan. Adaptasi ini penting untuk memastikan kupu-kupu dewasa keluar pada waktu yang tepat sesuai musim dan ketersediaan sumber makanan (Gao *et al.*, 2024). Secara ekologis pupa memiliki peran penting sebagai bakal calon individu meskipun terlihat tidak aktif secara fisik karena pupa sebenarnya aktif secara fisiologi Pupa sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan kelembapan. Adaptasi ini penting untuk memastikan kupu-kupu dewasa keluar pada waktu yang tepat sesuai musim dan ketersediaan sumber makanan (Gao *et al.*, 2024).

#### 4) Imago



**Gambar 2.14** Kupu-kupu (*Lepidoptera*) dewasa atau imago  
(Sumber: *Dokumen Pribadi*, 2025, 2025)

Imago kupu-kupu adalah tahap dewasa dalam siklus hidup kupu-kupu, di mana serangga ini telah sepenuhnya berkembang dan siap untuk bereproduksi. Tahap imago sangat penting karena pada fase inilah kupu-kupu melakukan aktivitas utama seperti terbang, mencari makan, dan bertelur. Imago memiliki sayap yang sudah berkembang sempurna dan tubuh yang siap untuk terbang. Warna dan pola pada sayap biasanya paling jelas dan menarik pada tahap ini, berfungsi untuk menarik pasangan atau sebagai kamuflase dari predator (D., 1925). Ukuran dan bentuk sayap imago dapat bervariasi tergantung pada spesies dan faktor lingkungan, seperti suhu dan ketersediaan makanan selama tahap larva (Сергеевна, 2014).

Imago berperan utama dalam reproduksi, yaitu kawin dan bertelur. Pada tahap ini, kupu-kupu mencari nektar sebagai sumber energi utama untuk aktivitas terbang dan reproduksi (Ulrich *et al.*, 2016; Teucher *et al.*, 2016). Imago juga berperan dalam penyebaran spesies ke area baru melalui kemampuan terbangnya (Kövéř *et al.*, 2008). Aktivitas imago sangat dipengaruhi oleh ketersediaan bunga sebagai sumber nektar dan kondisi cuaca, seperti suhu dan curah hujan (Francioli *et al.*, 2022; Ulrich *et al.*, 2016). Perubahan suhu dan curah hujan dari tahun ke tahun dapat memengaruhi durasi masa terbang imago dan jumlah populasi yang muncul (Francioli *et al.*, 2022). Imago cenderung memilih habitat dengan ketersediaan bunga yang tinggi, sedangkan tahap larva lebih bergantung pada tanaman inang tertentu (Ulrich *et al.*, 2016; Teucher *et al.*, 2016).

Imago kupu-kupu dapat menunjukkan perilaku terbatas dalam pergerakan di dalam habitat, seringkali membentuk area jelajah tertentu (home range) dan tidak selalu berpindah jauh. Waktu bertelur imago sering kali terbatas, sehingga ada keseimbangan antara waktu untuk terbang dan waktu untuk bertelur (Kövéř *et al.*, 2008).

##### **5) Polifagi dan Monofagi**

Polifagi dan monofagi adalah dua strategi utama kupu-kupu dalam memilih tanaman inang untuk makan dan bertelur. Perbedaan ini sangat memengaruhi ekologi, evolusi, dan adaptasi kupu-kupu terhadap lingkungan. Kupu-kupu monofag hanya menggunakan satu jenis atau satu keluarga tanaman sebagai sumber makanan larva dan tempat bertelur. Spesialisasi ini membuat mereka sangat tergantung pada ketersediaan tanaman inang tertentu (Thompson, 1998; Young, 1980; Levins & Macarthur, 1969). Sedangkan Kupu-kupu polifag dapat memanfaatkan berbagai jenis atau keluarga tanaman sebagai inang. Mereka lebih fleksibel dalam memilih makanan dan tempat bertelur, sehingga lebih mudah beradaptasi dengan perubahan lingkungan atau ketersediaan tanaman (Thompson, 1998; Young, 1980; Rodrigues & Freitas, 2013; Ros *et al.*, 2021; Söderlind *et al.*, 2013).

Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi kupu-kupu polifag dan monofag yaitu lingkungan pada hutan primer yang memiliki banyak jenis tanaman dengan distribusi tersebar, kupu-kupu cenderung polifag. Sebaliknya, di hutan sekunder dengan sedikit

jenis tanaman yang tumbuh dalam kelompok besar, monofagi lebih umum (Young, 1980). Selanjutnya adalah genetika dan fisiologi polifagi sering dikaitkan dengan ekspansi gen keluarga yang berperan dalam detoksifikasi senyawa tanaman, memungkinkan kupu-kupu mengatasi berbagai pertahanan kimia tanaman (Ros *et al.*, 2021; Söderlind *et al.*, 2013; , 2021). Kemudian ada strategi bertelur ketika menghadapi tantangan dalam memilih tanaman inang yang tepat, sehingga waktu pengambilan keputusan bertelur bisa lebih lama dan berisiko salah pilih, sedangkan monofag lebih cepat dan akurat karena hanya mengenali satu jenis tanaman (Janz, 2003).

#### **h. Habitat Kupu-kupu (*Lepidoptera*)**

Habitat kupu-kupu adalah lingkungan tempat kupu-kupu hidup, mencari makan, berkembang biak, dan menjalani seluruh siklus hidupnya. Pemahaman tentang habitat sangat penting untuk upaya konservasi dan pengelolaan populasi kupu-kupu, karena habitat menyediakan semua sumber daya yang dibutuhkan oleh kupu-kupu di setiap tahap kehidupannya. Habitat secara biologis adalah lingkungan alami yang secara khas ditempati oleh suatu organisme, termasuk kupu-kupu. Habitat mencakup area yang dibedakan oleh kumpulan organisme yang menempatinnya dan interaksi antara makhluk hidup dengan lingkungannya (Dominiczak, 2016). Dalam konteks kupu-kupu, habitat tidak hanya sekadar jenis vegetasi, tetapi juga mencakup distribusi sumber daya penting seperti tanaman inang untuk larva, sumber nektar untuk imago, serta kondisi fisik seperti suhu, kelembapan, dan perlindungan dari predator (Shreeve *et al.*, 2006).

##### **1) Faktor Biotik dan Abiotik dalam Habitat Kupu-kupu (*Lepidoptera*)**

Faktor biotik dan abiotik sangat berperan dalam menentukan kelimpahan, distribusi, dan keanekaragaman kupu-kupu (*Lepidoptera*) di berbagai habitat. Interaksi antara kedua faktor ini membentuk kualitas habitat dan memengaruhi siklus hidup serta perilaku kupu-kupu. Keberadaan tanaman inang untuk larva dan bunga sebagai sumber nektar sangat penting bagi kelangsungan hidup kupu-kupu. Jenis dan kelimpahan tanaman ini memengaruhi jumlah dan keanekaragaman spesies kupu-kupu (Holbeck *et al.*, 2001; Sánchez-Dávila *et al.*, 2023; Basnet *et al.*, 2020; Bashar *et al.*, 2015). Keanekaragaman dan kompleksitas vegetasi, seperti adanya semak, rumput, dan

pohon, meningkatkan keanekaragaman kupu-kupu dengan menyediakan tempat berlindung, bertelur, dan sumber makanan (Sánchez-Dávila *et al.*, 2023; Basnet *et al.*, 2020; Chowdhury *et al.*, 2017). Persaingan, predasi, dan hubungan mutualisme dengan tumbuhan berbunga juga memengaruhi distribusi kupu-kupu (Rotenberry *et al.*, 2008; Chowdhury *et al.*, 2017). Praktik pertanian, penggembalaan, dan tingkat gangguan manusia dapat mengubah struktur vegetasi dan memengaruhi komunitas kupu-kupu (Dover *et al.*, 2011).

Faktor abiotik memainkan peran kritis dalam menentukan kelayakan habitat kupu-kupu (*Lepidoptera*) melalui pengaruhnya terhadap fisiologi, perilaku, dan siklus hidup. Variasi suhu dan kelembapan harian serta musiman sangat memengaruhi aktivitas, kelimpahan, dan komposisi spesies kupu-kupu. Beberapa spesies lebih aktif pada suhu tertentu atau saat kelembapan optimal (Terry *et al.*, 2024; Gawlinski *et al.*, 2023; Bashar *et al.*, 2015). Suhu optimal untuk aktivitas dan performa organisme (termasuk serangga) umumnya berada di kisaran 22–24°C. Suhu di bawah atau di atas rentang ini dapat menurunkan performa dan meningkatkan risiko gangguan kesehatan (Wolkoff *et al.*, 2021). Beberapa penelitian di Jakarta dan Padang mencatat suhu rata-rata harian berkisar antara 20°C hingga 30°C, dengan suhu di Jakarta selama musim kering rata-rata 27–29°C (Sari, 2024; Ramadhan & Permadi, 2024; Febrinaldi *et al.*, 2021).

Kelembapan relatif optimal adalah 40–60%. Kelembapan di bawah 40% menyebabkan kekeringan pada jaringan, sedangkan di atas 60% dapat meningkatkan risiko infeksi dan menurunkan kenyamanan (Wolkoff *et al.*, 2021). Di berbagai lokasi, kelembapan relatif tercatat antara 65% hingga 95% (misal: Lubang Jepang 75,97–94,76%; Istano Basa Pagaruyung 65,83–67,16%) (Annisa *et al.*, 2023; Febrinaldi *et al.*, 2021). Di Wonosobo, kelembapan dalam ruangan 78–85% (Annisa *et al.*, 2023). Pengukuran di lingkungan nyata menunjukkan suhu berkisar 20–30°C dan kelembapan 43–76% masih dapat mendukung aktivitas organisme (Ukadike *et al.*, 2024).

Intensitas cahaya alami di siang hari berkisar 10.000–25.000 Lux di luar ruangan, namun kupu-kupu dapat beraktivitas pada intensitas lebih rendah, tergantung spesies dan habitat. Di lingkungan indoor, intensitas cahaya >100 Lux umumnya masih

mendukung aktivitas serangga (Ukadike *et al.*, 2024). Di objek wisata indoor, intensitas cahaya sangat rendah (0,4–4 Lux di Lubang Jepang; 28–38 Lux di Istano Basa Pagaruyung) (Febrinaldi *et al.*, 2021). Di ruang publik seperti kafe, intensitas cahaya bervariasi tergantung waktu dan lokasi (Annisa *et al.*, 2023).

## 2) Struktur Vegetasi

Struktur vegetasi merupakan salah satu faktor kunci yang memengaruhi keberadaan, keanekaragaman, dan komposisi komunitas kupu-kupu. Variasi dalam tinggi, kepadatan, dan jenis vegetasi menciptakan berbagai mikrohabitat dan sumber daya yang dibutuhkan kupu-kupu untuk bertahan hidup dan berkembang biak. Sebagian besar kupu-kupu lebih menyukai habitat terbuka seperti padang rumput dan area dengan vegetasi rendah. Proses penutupan vegetasi (vegetation encroachment) akibat perluasan hutan atau berkurangnya penggembalaan menyebabkan perubahan komunitas kupu-kupu ke arah spesies yang menyukai habitat tertutup, serta menurunkan keanekaragaman dan menyebabkan kepunahan lokal spesies yang bergantung pada habitat terbuka (Gutierrez *et al.*, 2020). Tinggi rata-rata vegetasi, jumlah vegetasi pada ketinggian 0,5–2 m, serta keberadaan vegetasi tinggi dan rendah memengaruhi baik keanekaragaman spesies maupun keanekaragaman fungsional kupu-kupu. Setiap spesies memiliki preferensi terhadap struktur vegetasi tertentu, sehingga perubahan struktur dapat mengubah komposisi komunitas (Boekelo *et al.*, 2017; Öckinger *et al.*, 2013; Despland & Dexheimer, 2023). Keberagaman tipe vegetasi seperti celah hutan, hutan bambu, hutan semi-gugur, padang rumput pada skala kecil meningkatkan peluang koeksistensi berbagai spesies kupu-kupu. Setiap tipe vegetasi menawarkan kombinasi unik cahaya, suhu, kelembapan, dan ketersediaan tanaman inang (Freitas *et al.*, 2023; Panda *et al.*, 2023). Faktor vegetasi pada lapisan pohon, semak, dan herba semuanya berkontribusi terhadap keanekaragaman dan kelimpahan kupu-kupu di habitat urban maupun alami. Lapisan pohon sering menjadi faktor penentu utama dalam model keanekaragaman kupu-kupu (Huang *et al.*, 2024).

Jumlah dan jenis bunga sangat memengaruhi kelimpahan kupu-kupu. Banyak spesies menunjukkan asosiasi positif dengan keluarga tanaman tertentu yang menyediakan nektar atau tanaman inang untuk larva (Öckinger *et al.*, 2013; Kitahara

& Yasuda, 2024). Struktur vegetasi memengaruhi perilaku kupu-kupu, seperti lokasi bertengger, mencari makan, dan bertelur. Misalnya, jantan sering bertengger di dekat semak atau tepi hutan, sedangkan betina lebih aktif di area dengan vegetasi sedang yang kaya nektar dan dekat tanaman inang (Hula *et al.*, 2023). Pengelolaan vegetasi seperti pemotongan, penggembalaan, atau pembukaan area tertentu dapat meningkatkan keanekaragaman kupu-kupu dengan menciptakan mosaik habitat dan mempertahankan area terbuka (Öckinger *et al.*, 2013; Kitahara & Yasuda, 2024). Mempertahankan variasi struktur vegetasi dan tipe habitat sangat penting untuk mendukung keanekaragaman dan kelangsungan komunitas kupu-kupu (Boekelo *et al.*, 2017; Freitas *et al.*, 2023; Roth *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2024).

#### **a) Hutan Heterogen**

Hutan heterogen, yaitu hutan dengan variasi struktur, jenis vegetasi, dan kondisi lingkungan yang tinggi, terbukti sangat penting bagi keanekaragaman dan kelimpahan kupu-kupu. Keberagaman mikrohabitat dan sumber daya di hutan heterogen menciptakan peluang bagi berbagai spesies kupu-kupu untuk hidup berdampingan. Adapun keanekaragaman kupu-kupu di hutan heterogen tercatat pada penelitian Ruslan tahun 2023 di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango bahwa hutan heterogen memiliki jumlah spesies dan individu kupu-kupu yang jauh lebih tinggi dibandingkan hutan homogen yaitu 78 spesies vs 39 spesies. Selain itu, di belahan dunia lain tepatnya di Brazil Hutan galeri (*gallery forest*) yang sangat heterogen, memiliki keanekaragaman taksonomi, fungsional, dan filogenetik kupu-kupu lebih tinggi dibandingkan savana. Hutan ini juga menjadi tempat berlindung bagi spesies berukuran kecil dan rentan kekeringan (Dyer *et al.*, 2024). Hutan heterogen menyediakan berbagai mikrohabitat, seperti area terbuka, tepi hutan, dan area dengan kelembapan atau cahaya berbeda. Spesies kupu-kupu spesialis sangat bergantung pada mosaik habitat ini untuk bertelur dan berkembang (Habel *et al.*, 2022; Benedick *et al.*, 2003; Freitas *et al.*, 2023).

Hutan heterogen sejatinya tidak ada yang dapat mendukung seluruh komunitas kupu-kupu. Kombinasi berbagai tipe hutan dan kondisi tanah dengan kelembapan, pH sangat penting untuk menjaga keanekaragaman wilayah (Kaasik *et al.*, 2020; Werneck

*et al.*, 2021; Freitas *et al.*, 2023). Penelitian angka panjang di Jerman menunjukkan bahwa hutan heterogen yang dikelola secara berkelanjutan mampu mempertahankan keanekaragaman kupu-kupu selama puluhan tahun, meskipun terjadi perubahan komposisi komunitas akibat perubahan struktur habitat (Jan *et al.*, 2024).

#### **b) Lapangan Terbuka**

Lapangan terbuka atau habitat terbuka seperti padang rumput, tepi ladang, dan ruang terbuka hijau di perkotaan sangat penting bagi kupu-kupu. Habitat ini menyediakan sumber makanan, tempat bertelur, dan jalur pergerakan yang mendukung kelangsungan hidup berbagai spesies kupu-kupu. Lapangan terbuka dengan banyak tanaman berbunga dan tanaman inang meningkatkan jumlah telur yang diletakkan dan kehadiran larva kupu-kupu. Pengelolaan vegetasi seperti pemotongan rumput untuk meningkatkan paparan sinar matahari terbukti meningkatkan aktivitas bertelur dan populasi larva kupu-kupu endemik (Platania *et al.*, 2021; Feber *et al.*, 1996). Di ruang terbuka hijau perkotaan di Jakarta dan Pontianak, ditemukan 17–22 spesies kupu-kupu. Keanekaragaman ini meningkat seiring bertambahnya jumlah spesies tanaman pakan dan kepadatan kanopi yang menyediakan tempat berlindung (Destiana *et al.*, 2022).

Beberapa faktor yang mempengaruhi kupu-kupu di lapangan terbuka yaitu ketersediaan bunga dan tanaman inang karena kelimpahan bunga dan tanaman inang sangat berpengaruh pada jumlah dan keanekaragaman kupu-kupu. Penanaman campuran rumput dan bunga liar meningkatkan populasi kupu-kupu, sedangkan penggunaan herbisida menurunkan kelimpahan mereka (Feber *et al.*, 1996; Parish & Sparks, 1995). Selanjutnya Pengelolaan habitat seperti pemotongan vegetasi secara selektif, penanaman bunga liar, dan mengurangi penggunaan pestisida sangat penting untuk menjaga habitat kupu-kupu di lahan terbuka (Platania *et al.*, 2021; Feber *et al.*, 1996; Schmitt *et al.*, 2019).

Kupu-kupu di lapangan terbuka cenderung memulai aktivitas lebih awal dan terpapar cahaya lebih tinggi dibandingkan di hutan tertutup, namun mereka mampu menyesuaikan waktu aktivitas untuk menghindari suhu ekstrem (Ashton *et al.*, 2025). Lapangan terbuka dan tepi ladang berfungsi sebagai koridor pergerakan, memudahkan

kupu-kupu berpindah antar patch habitat dan meningkatkan konektivitas populasi (McClellan *et al.*, 2021; Parish & Sparks, 1995).

### c) Pertanian

Lahan pertanian memiliki peran penting bagi kupu-kupu, namun intensitas pengelolaan dan struktur lanskap sangat memengaruhi keanekaragaman dan kelimpahan kupu-kupu di habitat ini. Penelitian menunjukkan bahwa praktik pertanian yang ramah lingkungan dan keberagaman habitat sangat penting untuk mendukung komunitas kupu-kupu. Lahan pertanian yang dikelola secara intensif yaitu penggunaan pestisida, monokultur menyebabkan penurunan keanekaragaman dan kelimpahan kupu-kupu. Hanya spesies kupu-kupu yang bersifat generalis dan mudah beradaptasi yang mampu bertahan, sedangkan spesies spesialis cenderung hilang (Julia *et al.*, 2022; Norville *et al.*, 2018; Sotherton & Rands, 1986). Lahan pertanian dengan intensitas rendah, seperti padang rumput ekstensif dan lahan heterogen, mendukung keanekaragaman kupu-kupu yang tinggi, termasuk spesies yang lebih sensitif dan spesialis (Julia *et al.*, 2022; Loos *et al.*, 2014).

Keanekaragaman tanaman berbunga dan tanaman inang sangat penting untuk mendukung kupu-kupu. Lahan yang memiliki banyak bunga liar dan tanaman inang cenderung memiliki lebih banyak kupu-kupu (Habel *et al.*, 2023; Kerr *et al.*, 2023; Dover, 1996). Kehadiran pagar tanaman, tepi hutan, dan habitat semi-alami di sekitar lahan pertanian meningkatkan keanekaragaman kupu-kupu. Hedges dan struktur vegetasi yang beragam memberikan tempat berlindung dan sumber makanan tambahan (Habel *et al.*, 2023; Dover, 1996). Praktik pertanian organik dan agroekologi yang mengurangi penggunaan pestisida dan meningkatkan keanekaragaman tanaman terbukti meningkatkan kelimpahan dan keanekaragaman kupu-kupu, terutama jika didukung oleh keberagaman bunga dan praktik pengelolaan tanah yang ramah lingkungan (Habel *et al.*, 2023; Kerr *et al.*, 2023).

Jika aktivitas ini sudah masih dan terasa sudah tidak terlihat spesies kupu-kupu pada lingkungan tersebut bisa dilakukan pengembalian batas-batas lahan pertanian menjadi padang rumput atau vegetasi alami dapat meningkatkan konektivitas dan pergerakan kupu-kupu antar habitat (Bakkestuen *et al.*, 2003). Membiarkan tepi lahan

tanpa pestisida secara signifikan meningkatkan jumlah dan keanekaragaman kupu-kupu (Sotherton & Rands, 1986). Menambah keanekaragaman tanaman dan struktur lanskap (misal: pagar tanaman, padang rumput kecil) sangat penting untuk konservasi kupu-kupu di lahan pertanian (Habel *et al.*, 2023; Loos *et al.*, 2014).

#### **d) Taman Kota**

Taman kota berperan penting sebagai habitat dan tempat konservasi kupu-kupu di lingkungan perkotaan. Keberadaan taman kota yang dikelola dengan baik dapat meningkatkan keanekaragaman dan kelimpahan kupu-kupu, sekaligus memberikan manfaat ekologi dan edukasi bagi masyarakat. Taman kota dapat menjadi “refugia” bagi kupu-kupu di tengah tekanan urbanisasi. Studi di Pontianak mencatat 25–36 spesies kupu-kupu di taman kota, jumlah yang hampir setara dengan habitat agroforestri dan pinggiran kota, jauh lebih tinggi dibandingkan lahan pertanian dan lahan marginal (Raynaldo *et al.*, 2025). Di Bangkok, 51 spesies kupu-kupu ditemukan di 10 taman kota, menunjukkan peran penting taman kota sebagai pusat keanekaragaman serangga penyerbuk di perkotaan (Wilson *et al.*, 2020). Taman kota di berbagai kota besar Asia Timur dan Tenggara umumnya didominasi spesies kupu-kupu yang umum dan kosmopolitan, namun tetap berperan penting dalam menjaga populasi dan interaksi manusia-alam (Wilson *et al.*, 2020; Dong *et al.*, 2022).

Ada beberapa faktor penentu kehadiran kupu-kupu di taman kota seperti Keanekaragaman spesies tanaman, terutama tanaman berbunga dan tanaman inang, sangat berpengaruh pada jumlah dan keanekaragaman kupu-kupu. Taman dengan banyak tanaman nektar dan inang mendukung lebih banyak spesies dan individu kupu-kupu (Zhao *et al.*, 2021; Duque *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2024). Proporsi hutan kecil, padang rumput, dan area hijau di sekitar taman kota meningkatkan keanekaragaman kupu-kupu. Taman di pinggiran kota atau yang memiliki konektivitas dengan ruang hijau lain cenderung memiliki keanekaragaman lebih tinggi (Huang *et al.*, 2024; Yang *et al.*, 2019). Pengelolaan intensif seperti pemotongan rumput terlalu sering menurunkan keanekaragaman kupu-kupu. Sebaliknya, pengelolaan yang ramah lingkungan dan penanaman tanaman inang serta bunga liar dapat meningkatkan jumlah dan jenis kupu-kupu secara signifikan (Ekroos *et al.*, 2018; Duque *et al.*, 2023).

Terdapat banyak manfaat kehadiran kupu-kupu di tengah perkotaan salah satunya Kupu-kupu di taman kota menjadi indikator penting kualitas lingkungan dan keberhasilan konservasi keanekaragaman hayati di perkotaan (Huang *et al.*, 2023; Dong *et al.*, 2022). Interaksi masyarakat dengan kupu-kupu di taman kota meningkatkan kepedulian, pengetahuan, dan sikap positif terhadap konservasi alam (Dong *et al.*, 2022). Taman kota yang kaya kupu-kupu memberikan manfaat edukasi dan kesejahteraan psikologis bagi pengunjung (Dong *et al.*, 2022; Duque *et al.*, 2023).

#### **i. Ordo Kupu-kupu (*Lepidoptera*)**

Kupu-kupu atau *Lepidoptera*, adalah salah satu ordo serangga terbesar dan paling beragam, mencakup kupu-kupu dan ngengat. Ordo ini memiliki peran penting dalam ekosistem sebagai penyerbuk, sumber makanan bagi hewan lain, dan juga sebagai indikator lingkungan.

##### **1) Subordo *Rhopalocera* Kupu-kupu (*Lepidoptera*)**



**Gambar 2.15** Kupu-kupu (*Lepidoptera*)  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2025, 2025)

*Rhopalocera* adalah subordo dalam ordo *Lepidoptera* yang mencakup semua jenis kupu-kupu sejati. *Rhopalocera* memiliki ciri khas dan peran ekologi yang membedakannya dari subordo lain seperti ngengat (*Heterocera*). Bentuk Tubuh dan Sayap: Kupu-kupu *Rhopalocera* umumnya memiliki tubuh yang ramping, antena berbentuk gada (ujung membulat), dan sayap yang berwarna cerah serta indah (Wahyuningsih *et al.*, 2021; Attar *et al.*, 2022). Sebagian besar aktif di siang hari (diurnal), sehingga mudah diamati di habitat terbuka maupun hutan (Aisah & Fasa, 2024; Hariadi *et al.*, 2024). Berperan penting sebagai penyerbuk dan bioindikator kesehatan lingkungan (Aisah & Fasa, 2024; Hariadi *et al.*, 2024; Tiutiunyk &

Mukhina, 2024). Mengalami metamorfosis sempurna (holometabola) dengan tahapan telur, larva (ulat), pupa (kepompong), dan imago (dewasa) (Aisah & Fasa, 2024).

*Rhopalocera* terdiri dari beberapa famili utama, seperti *Nymphalidae*, *Pieridae*, *Lycaenidae*, *Papilionidae*, dan *Hesperiidae* (Thanh *et al.*, 2024; Wahyuningsih *et al.*, 2021; Khanal *et al.*, 2025). Keanekaragaman spesies sangat tinggi, misalnya di satu kawasan hutan di Indonesia ditemukan 47–73 spesies dari 6 famili. Spesies *Rhopalocera* tersebar di berbagai habitat, mulai dari hutan alami, padang rumput, lahan pertanian, hingga taman kota. Selain sebagai penyerbuk, kupu-kupu *Rhopalocera* juga menjadi bagian penting rantai makanan dan indikator perubahan lingkungan (Aisah & Fasa, 2024; Tiutiunyk & Mukhina, 2024). Keberadaan dan kelimpahan *Rhopalocera* sering digunakan untuk menilai kualitas habitat dan dampak perubahan lingkungan (Aisah & Fasa, 2024; Tiutiunyk & Mukhina, 2024; Attar *et al.*, 2022).

## 2) Subordo *Heterocera* Ngengat



**Gambar 2.16** Ngengat  
(Sumber Dokumentasi Pribadi, 2025)

Subordo *Heterocera* adalah kelompok dalam ordo *Lepidoptera* yang mencakup semua jenis ngengat. *Heterocera* sangat beragam dan memiliki peran penting dalam ekosistem, baik sebagai penyerbuk, hama, maupun indikator kesehatan lingkungan. Ciri utama ordo ini adalah Antena ngengat biasanya berbentuk lurus, berbulu, atau seperti sisir, berbeda dengan kupu-kupu yang antenanya berbentuk gada. Sebagian besar ngengat aktif di malam hari (nokturnal), meskipun ada juga yang aktif di siang hari. Umumnya memiliki warna tubuh dan sayap yang lebih gelap atau kusam, berfungsi sebagai kamuflase di lingkungan malam. Saat istirahat, ngengat biasanya

membentangkan sayapnya rata atau menutup sayap di atas tubuh seperti atap, berbeda dengan kupu-kupu yang menegakkan sayap

Keanekaragaman ngengat pada Studi di berbagai wilayah mencatat keanekaragaman tinggi, misalnya 99–1248 individu dari 11–14 famili dalam satu lokasi. Famili *Erebidae*, *Crambidae*, *Geometridae*, dan *Noctuidae* sering menjadi yang paling banyak ditemukan dan paling beragam *phingidae*, *Saturniidae*, *Eupterotidae*, *Uraniidae*, *Tineidae*, dan lain-lain juga sering ditemukan dalam survei keanekaragaman ngengat.

### 3) Perbedaan Kupu-kupu (*Lepidoptera*) dan Ngengat



**Gambar 2. 17** Perbedaan Kupu-kupu (*Lepidoptera*) dan Ngengat  
(Sumber: Loren Farrugia & Fleur, 2018)

Kupu-kupu dan ngengat adalah dua kelompok utama dalam ordo Lepidoptera yang sering dibedakan berdasarkan ciri morfologi, perilaku, dan fisiologi. Perbedaan utama antara kupu-kupu dan ngengat terletak pada waktu aktivitas, bentuk tubuh, struktur sisik sayap, dan cara berkomunikasi. Perbedaan yang paling terlihat adalah morfologi sayapnya yang mana sisik sayap kupu-kupu cenderung memiliki bentuk gerigi yang membulat, sedangkan pada ngengat lebih meruncing. Ukuran sisik kupu-kupu yang berwarna terang biasanya lebih besar, sedangkan ngengat memiliki sisik gelap yang juga berukuran besar (Atmowidi *et al.*, 2023). Kupu-kupu umumnya memiliki tubuh yang lebih ramping dan antena berbentuk gada (klub), sedangkan ngengat cenderung bertubuh gemuk dengan antena berbulu atau seperti sisir (Atmowidi *et al.*, 2023; Ford *et al.*, 1986).

Kupu-kupu umumnya aktif di siang hari (diurnal), sedangkan ngengat kebanyakan aktif di malam hari (nokturnal) atau saat senja (krepuskular). Sekitar 75-85% Lepidoptera adalah nokturnal (Zhou *et al.*, 2015; Plotkin *et al.*, 2018; Mayer *et al.*, 2019). Kupu-kupu lebih mengandalkan sinyal visual untuk berkomunikasi dan mencari

pasangan, sedangkan ngengat lebih mengandalkan sinyal kimia (feromon) yang dideteksi dengan protein pengikat bau (PBP) khusus (Zhou *et al.*, 2015). Kupu-kupu dan ngengat berbagi banyak gen terkait penciuman, namun kupu-kupu kehilangan beberapa gen yang penting untuk deteksi feromon pada ngengat, sejalan dengan pergeseran dari komunikasi kimia ke visual (Zhou *et al.*, 2015).

**j. Klasifikasi Kupu-kupu (*Lepidoptera*)**

Klasifikasi Kupu-kupu (*Lepidoptera*) menurut Scobel (1995) adalah sebagai berikut:

Kerajaan	:	Animalia
Filum	:	Arthropoda
Kelas	:	Insecta
Bangsa	:	Lepidoptera

Kupu-kupu (*Lepidoptera*) tergolong ke dalam Filum Arthropoda, Kelas Insekta, Ordo Lepidoptera, Superfamili Papilionoidea, dan Hesperioidea. Superfamili Papilionoidea terdiri dari famili Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae, Lycaenidae, dan Rionidae. Superfamili Hesperioidea hanya famili Hesperidae. Papilionoidea (Kupu-kupu (*Lepidoptera*)) dan Hesperioidea (Ngengat) memiliki Perbedaan antara Papilionoidea, dan Hesperioidea terletak pada corak dari sayap, dimana Kupu-kupu (*Lepidoptera*) pada umumnya memiliki bentuk dan corak yang lebih menarik (cerah), dibandingkan dengan ngengat. Kupu-kupu (*Lepidoptera*) bersifat diurnal, sedangkan ngengat nocturnal. Sayap Kupu-kupu (*Lepidoptera*) ketika istirahat tegak ke atas, sedangkan sayap pada ngengat membentang. Antena pada Kupu-kupu (*Lepidoptera*) membesar pada bagian ujung, sedangkan pada ngengat bervariasi. (Rachman *et al.*, 2019). Di era serba digital sudah lebih mudah dalam menganalisis genomik dan filogenetik kupu-kupu untuk memperjelas hubungan antar famili, subfamili, dan genus kupu-kupu. Studi genomik telah menghasilkan penemuan taksa baru, termasuk 11 suku (*tribe*), 33 sub-suku, 2 genus, 11 subgenus, dan 12 spesies baru (Zhang *et al.*, 2023). Hal lain yang menarik adalah Sistem klasifikasi dapat berbeda antar negara misalnya,

sistem di Tiongkok membagi kupu-kupu dunia menjadi 17 famili, sedangkan di wilayah lain bisa berbeda (Jian-Xi, 2014).

### 1) *Nymphalidae*



**Gambar 2.18** Kupu-kupu Lengan Putih (*Limenitis Camilla*)  
(Sumber: David, 2011)

*Nymphalidae* adalah famili kupu-kupu terbesar dalam ordo Lepidoptera, terdiri dari sekitar 7.200 spesies yang tersebar di seluruh dunia dan menempati hampir semua tipe habitat (Fan *et al.*, 2023). Famili ini terbagi dalam beberapa subfamili utama, antara lain *Danainae*, *Satyrinae*, *Heliconiinae*, *Limenitidinae*, *Nymphalinae*, *Apaturinae*, *Charaxinae*, *Morphinae*, *Brassolinae*, *Biblidinae*, dan *Cyrestinae* (Weingartner *et al.*, 2003; Brown & Freitas, 2004; Fan *et al.*, 2023).

Kaki Depan Kecil: Anggota *Nymphalidae* memiliki kaki depan yang lebih kecil atau tidak berfungsi (brush-footed), sehingga tampak hanya memiliki empat kaki saat berjalan (Brown & Freitas, 2004). Sayap memiliki pola dan warna sayap sangat bervariasi, banyak spesies memiliki warna cerah dan pola yang kompleks yang digunakan untuk mimikri dan perlindungan diri (Saha & Ghosh, 2019). Ukuran tubuh dan sayap sangat beragam, dari kecil hingga besar, tergantung spesies dan subfamili (Luis-Martínez *et al.*, 2022; Moise *et al.*, 2023).

Ditemukan di berbagai habitat, mulai dari hutan hujan tropis, padang rumput, pegunungan, hingga daerah kering (Luis-Martínez *et al.*, 2022; Moise *et al.*, 2023). Spesies *Nymphalidae* sangat bergantung pada tumbuhan inang tertentu untuk siklus hidupnya, dan perubahan habitat dapat memengaruhi kelimpahan dan distribusi mereka (Sulisetijono *et al.*, 2022). Pakan utamanya tidak tersedia. sumber pakan utama bagi kupu-kupu (*Lepidoptera*) dari famili *Nymphalidae* antara lain adalah tumbuhan dari

famili *Anacardiaceae* (*Anacardium*), *Moraceae* (*Ficus*), *Piperaceae* (*Piper*), dan *Rubiaceae* (*Ixora*) (Handayani & Rahayuningsih, 2021).

*Nymphalidae* juga banyak melakukan adaptasi berupa mimikri sebagai strategi bertahan hidup, misalnya mimikri *Batesian* antara *Danaus chrysippus* (model) dan *Hypolimnus misippus* (mimik) (Saha & Ghosh, 2019).

## 2) *Papilionidae*



**Gambar 2.19** Kupu-kupu (*Lepidoptera*) Ekor Layang-layang (*Papilio Machaon*)  
(Sumber: Peter Eales, 2016)

Kupu-kupu (*Lepidoptera*) berukuran besar dan mempunyai sayap yang indah kebanyakan spesies dari family ini berwarna merah, kuning, hijau, dengan kombinasi hitam dan putih. Kupu-kupu (*Lepidoptera*) famili *Papilionidae* dikenal dengan nama Kupu-kupu (*Lepidoptera*) "swallowtail" atau Kupu-kupu (*Lepidoptera*) ekor layang-layang karena jenis famili *Papilionidae* memiliki ekor hasil perpanjangan sudut sayap belakang. Sebagian besar anggota *Papilionidae* berukuran besar dan memiliki warna sayap yang mencolok, sering kali dengan pola warna cerah dan ekor memanjang di sayap belakang (mirip ekor burung walet) (Gangotia *et al.*, 2024; Chen *et al.*, 2024). *Papilionidae* sangat beragam dalam jenis sisik sayapnya, menampilkan hampir semua tipe warna struktural yang ditemukan pada *Lepidoptera*, termasuk beberapa tipe unik yang hanya ada pada famili ini (Ghiradella, 1985). Bentuk genitalia sangat khas dan menjadi penanda penting untuk membedakan spesies dalam genus *Papilio* (Gangotia *et al.*, 2024).

Spesies *Papilionidae* menunjukkan variasi pola makan, dari oligofagus (hanya satu famili tumbuhan inang) hingga polifagus (banyak famili tumbuhan inang). Mereka juga memiliki mekanisme fisiologis khusus untuk mengolah senyawa kimia dari tumbuhan

inang (Berenbaum, 1991). Banyak ditemukan di hutan tropis, pegunungan, dan padang rumput, dengan beberapa spesies sangat adaptif terhadap berbagai lingkungan (Luis-Martínez *et al.*, 2020; Kunte *et al.*, 2023). Sumber pakan Kupu-kupu (*Lepidoptera*) famili *Papilionidae* adalah tumbuhan dari famili *Annonaceae* (*Annona*), *Bombacaceae* (*Durio*), *Caesalpiniaceae* (*Cassia*), *Magnoliaceae* (*Michelia*), dan *Rutaceae* (*Citrus*) (Handayani & Rahayuningsih, 2021).

### 3) *Pieridae*

Famili *Pieridae* adalah salah satu famili kupu-kupu terbesar dan paling dikenal luas, sering disebut sebagai “kupu-kupu putih” atau “kupu-kupu kuning”. Anggota famili ini umumnya memiliki warna sayap putih, kuning, atau oranye, dan tersebar hampir di seluruh dunia. Sebagian besar anggota *Pieridae* memiliki warna dasar sayap putih atau kuning, sering kali dengan bercak hitam di tepi atau ujung sayap (Gupta *et al.*, 2014; یبوت *et al.*, 2021). *Pieridae* ditemukan di berbagai habitat, mulai dari dataran rendah hingga pegunungan, dan dapat hidup di hutan, padang rumput, hingga lahan pertanian (Luis-Martínez *et al.*, 2020). Spesies *Pieridae* umumnya memiliki toleransi ekologi yang luas dan beberapa di antaranya mampu bermigrasi jarak jauh (Luis-Martínez *et al.*, 2020). Mereka berperan penting sebagai penyerbuk dan indikator kesehatan lingkungan (H. *et al.*, 2024; Luis-Martínez *et al.*, 2020). Sumber makanannya adalah tumbuhan famili *Capparaceae* (*Capparis*), *Caesalpiniaceae* (*Caesalpinia*) dan *Mimosaceae* (*Acacia*, *Mimosa*) (Handayani & Rahayuningsih, 2021).

### 4) *Lycaenidae*



**Gambar 2.20** Kupu-kupu (*Lepidoptera*) Ungu (*Neozephyrus quercus*)  
(Sumber: Varga Rita, 2024)

Famili *Lycaenidae* adalah famili kupu-kupu terbesar kedua di dunia, dikenal juga sebagai “kupu-kupu biru, tembaga, dan hairstreak”. Famili ini sangat beragam, baik dari segi morfologi, ekologi, maupun perilaku, dan memiliki hubungan unik dengan semut (*myrmecophily*). Umumnya berukuran kecil hingga sedang, dengan warna sayap yang cerah seperti biru, oranye, tembaga, atau kombinasi warna metalik. Banyak spesies memiliki ekor kecil di sayap belakang (hairstreak) (Prakash *et al.*, 2023). Terdapat sekitar 6.000 spesies *Lycaenidae* di seluruh dunia, mencakup sekitar sepertiga dari seluruh kupu-kupu sejati (Papilionoidea) (Heath *et al.*, 2002; Prakash *et al.*, 2023; Jamal *et al.*, 2022). Larva *Lycaenidae* sering sulit dibedakan antar spesies karena warna tubuh yang mirip, namun dapat dibedakan dengan ciri morfologi kepala dan rasio ukuran tertentu (McElveen & Meyer, 2024).

Lebih dari 50% spesies *Lycaenidae* larvanya berasosiasi dengan semut, mulai dari hubungan mutualisme (saling menguntungkan) hingga parasitisme. Larva dan pupa menggunakan sinyal kimia dan suara untuk memanipulasi perilaku semut (Fiedler, 1996; Heath *et al.*, 2002; Cottrell, 1984). Sebagian besar larva bersifat spesialis, hanya memakan satu famili atau genus tumbuhan. Namun, ada juga yang karnivor (memakan serangga lain) atau bahkan kanibal (Nash *et al.*, 2018; Fiedler, 1996; Cottrell, 1984). *Lycaenidae* umumnya mengeluarkan racun tumbuhan daripada menyimpannya, dan flavonoid dari tumbuhan inang sering digunakan sebagai pigmen pada sayap dewasa (Fiedler, 1996). Makanan bagi kupu-kupu (*Lepidoptera*) famili *Lycaenidae* berasal dari tumbuhan dalam famili *Papilionaceae* (*Phaseolus*), *Euphorbiaceae* (*Hevea*), *Zingiberaceae* (*Curcuma*), dan *Mimosaceae* (*Acacia*) (Handayani & Rahayuningsih, 2021).

##### 5) *Hesperiidae*



**Gambar 2.21** Kupu-kupu (*Lepidoptera*)  
(Sumber: Alland Ward, 2018)

Famili *Hesperiidae* dikenal sebagai *skipper butterflies* atau kupu-kupu skipper, merupakan salah satu kelompok kupu-kupu yang sangat beragam dan mudah dikenali dari bentuk tubuhnya yang kokoh serta gaya terbangnya yang cepat dan melompat. Famili ini tersebar luas di seluruh dunia dan memiliki peran penting dalam ekosistem sebagai penyerbuk dan indikator lingkungan.

Tubuh *Hesperiidae* umumnya lebih gemuk dan kokoh dibandingkan kupu-kupu lain, dengan kepala besar dan mata menonjol. Sayap biasanya pendek dan lebar, dengan warna cenderung coklat, abu-abu, atau oranye, sering kali tanpa pola mencolok. Banyak spesies memiliki pola warna yang mirip antar spesies, sehingga sulit dibedakan secara visual (Borek *et al.*, 2015). Ujung antena berbentuk kait (*hooked*), berbeda dari kupu-kupu lain yang biasanya berbentuk pentung (Warren *et al.*, 2009; Yuan *et al.*, 2024). Memiliki tiga tipe sensilla pada probosis dan delapan tipe sensilla pada antena, yang bervariasi antar subfamili dan genus, berperan dalam strategi makan dan preferensi pakan (Yuan *et al.*, 2024). Pakan utama bagi kupu-kupu (*Lepidoptera*) famili *Hesperiidae* meliputi tumbuhan dari famili *Poaceae* (*Imperata*, *Oryza*), *Aracaceae* (*Cocos*), dan *Zingiberaceae* (*Zingiber*, *Curcuma*) (Handayani & Rahayuningsih, 2021).

### **3. Bioindikator**

Bioindikator adalah organisme hidup seperti tumbuhan, hewan, mikroba, atau kelompok organisme yang digunakan untuk memantau kesehatan lingkungan dan mendeteksi perubahan atau pencemaran di ekosistem. Bioindikator memberikan informasi tentang kondisi lingkungan melalui respons fisiologis, perilaku, atau perubahan populasi mereka terhadap faktor lingkungan.

#### **a. Definisi Bioindikator**

Bioindikator adalah organisme yang digunakan untuk menilai kesehatan ekosistem, mendeteksi polusi, dan memantau perubahan lingkungan. Organisme ini sensitif terhadap perubahan lingkungan sehingga dapat memberikan peringatan dini jika terjadi gangguan atau pencemaran (Rawtani *et al.*, 2016; Pattanayak, 2020; Anunobi, 2024; Burger, 2006). Bioindikator dapat menunjukkan tingkat pencemaran, kualitas air, tanah, atau udara, serta dampak bahan kimia berbahaya seperti logam berat.

Mereka juga digunakan untuk memantau tren jangka panjang kesehatan lingkungan (Rawtani *et al.*, 2016; Stanković *et al.*, 2014; Pattanayak, 2020; Burger, 2006). Contoh nyata bioindikator yang tercatat adalah plankton, alga, tumbuhan tertentu, serangga, dan hewan lain yang populasinya berubah sesuai dengan kondisi lingkungan (Rawtani *et al.*, 2016; Stanković *et al.*, 2014; Bibak *et al.*, 2023). Organisme bioindikator biasanya sensitif terhadap perubahan lingkungan, mudah diamati, dan memiliki respons yang spesifik terhadap polutan atau perubahan ekosistem (Pattanayak, 2020; Anunobi, 2024; Burger, 2006).

#### **b. Jenis-jenis Bioindikator**

Terdapat berbagai jenis bioindikator yang digunakan untuk memantau kesehatan lingkungan, kualitas ekosistem, dan mendeteksi polusi. Jenis-jenis bioindikator ini dapat diklasifikasikan berdasarkan organisme yang digunakan maupun fungsinya dalam pemantauan lingkungan.

##### **1) Vegetasi sebagai Bioindikator**

Vegetasi atau tumbuhan sering digunakan sebagai bioindikator untuk memantau kondisi lingkungan, mendeteksi polusi, dan menilai perubahan ekosistem. Vegetasi memberikan respons yang jelas terhadap perubahan fisik, kimia, dan biologis di lingkungan, sehingga sangat efektif sebagai alat pemantauan. Vegetasi dapat menunjukkan perubahan kondisi tanah, kelembapan, pH, ketersediaan nutrisi, dan salinitas. Misalnya, di area taman surya, komposisi dan keanekaragaman vegetasi berubah sesuai dengan kondisi tanah di bawah panel surya, menandakan adanya fragmentasi dan potensi masuknya spesies invasif (Vaverková *et al.*, 2023). Daun tumbuhan dapat mengakumulasi partikel polutan seperti logam berat (tembaga, seng, timbal, nikel, kromium, kadmium) dari udara. Konsentrasi polutan pada daun mencerminkan tingkat pencemaran di sekitarnya, terutama di area perkotaan atau dekat jalan raya (Badillo *et al.*, 2024; Klumpp *et al.*, 1994; Tkachuk & Pankova, 2023). Perubahan komposisi dan struktur vegetasi dapat digunakan untuk menilai tingkat gangguan, seperti longsor atau perubahan penggunaan lahan. Jenis tumbuhan tertentu, seperti kehadiran anggrek di area longsor, dapat menjadi penanda usia gangguan tersebut (Oliveira *et al.*, 2020; Zangari *et al.*, 2024).

Daun yang mengalami klorosis, nekrosis, perubahan warna, deformasi, atau rontok dini dapat menandakan adanya polusi atau stres lingkungan (Tkachuk & Pankova, 2023). Perubahan jumlah dan jenis spesies tumbuhan, serta dominasi spesies toleran atau invasif, dapat menunjukkan kualitas lingkungan dan tingkat gangguan (Vaverková *et al.*, 2023; Waldon-Rudzionek *et al.*, 2022; De Simone *et al.*, 2023). Umbuahan tertentu mampu mengakumulasi polutan di jaringan mereka, sehingga dapat digunakan untuk biomonitoring jangka panjang (Badillo *et al.*, 2024; Klumpp *et al.*, 1994). Vegetasi mudah diamati, dapat mencerminkan berbagai faktor lingkungan, dan dapat digunakan di berbagai skala (lokal hingga lanskap) (Pott, 2011; Gamon *et al.*, 2019). Namun, Respons vegetasi bisa dipengaruhi banyak faktor sekaligus, sehingga interpretasi hasil perlu hati-hati dan sering memerlukan data pendukung lain (Vaverková *et al.*, 2023; Pott, 2011).

## **2) Invertebrata sebagai Bioindikator**

Invertebrata, seperti serangga, cacing tanah, siput, dan krustasea, banyak digunakan sebagai bioindikator untuk memantau kualitas lingkungan dan mendeteksi perubahan ekosistem. Kelompok ini sangat sensitif terhadap perubahan fisik, kimia, dan biologis di lingkungan, sehingga respons mereka dapat memberikan informasi penting tentang kondisi ekosistem. Invertebrata digunakan untuk menilai dampak polusi, perubahan habitat, dan gangguan manusia pada ekosistem darat maupun perairan. Mereka dapat mengindikasikan tingkat pencemaran logam berat, pestisida, dan bahan kimia lain di tanah, air, dan udara (Van Gestel *et al.*, 2012; Sujatha *et al.*, 2023; Abete *et al.*, 2019; Bonaventura *et al.*, 2021; Jackson & Hodkinson, 2005). Invertebrata, khususnya semut, kumbang tanah, dan kupu-kupu, sering digunakan untuk menilai keberhasilan restorasi ekosistem dan pemulihan keanekaragaman hayati setelah gangguan atau rehabilitasi lahan. Beberapa invertebrata, seperti makrobentos di danau pegunungan, mampu mengakumulasi logam berat dan unsur jejak, sehingga dapat digunakan untuk memantau kontaminasi lingkungan secara spesifik (Abete *et al.*, 2019).

Invertebrata sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, mudah ditemukan, dan memiliki siklus hidup pendek sehingga responsnya cepat terlihat. Mereka juga

dapat digunakan untuk berbagai tujuan, mulai dari pemantauan polusi hingga evaluasi keberhasilan restorasi (Sujatha *et al.*, 2023). Identifikasi taksonomi beberapa kelompok invertebrata bisa sulit dan memerlukan keahlian khusus. Penggunaan hanya satu kelompok taksonomi dapat memberikan hasil yang bias, sehingga disarankan menggunakan beberapa kelompok sekaligus (Samways *et al.*, 2013; Bressan & Paoletti, 1996; Gerlach *et al.*, 2013)

### **c. Kupu-kupu (*Lepidoptera*) Sebagai Bioindikator**

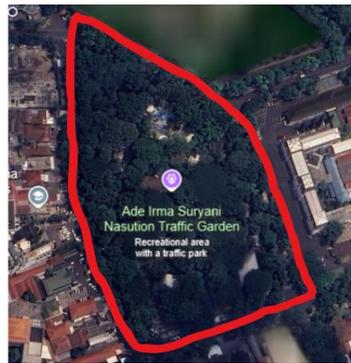
Kupu-kupu (*Lepidoptera*) sering digunakan sebagai bioindikator karena kepekaannya terhadap perubahan lingkungan dan peran pentingnya dalam ekosistem. Keberadaan dan keanekaragaman kupu-kupu dapat mencerminkan kesehatan lingkungan, kualitas habitat, serta dampak aktivitas manusia. Kupu-kupu dianggap bioindikator yang andal untuk menilai kesehatan ekosistem daratan karena responsnya yang cepat terhadap perubahan lingkungan, seperti polusi, fragmentasi habitat, dan perubahan vegetasi (Patel & Mashi, 2025; Hossain, 2023; Ismail *et al.*, 2024; Barbosa & Arof, 2024; Dessì *et al.*, 2023; Das, 2022). Digunakan dalam pemantauan kualitas lingkungan, restorasi habitat, dan penilaian dampak pembangunan atau urbanisasi (López *et al.*, 2020; Yanuwiadi *et al.*, 2023; Das, 2022). Kupu-kupu mudah diamati, memiliki siklus hidup yang singkat, dan spesiesnya banyak yang spesifik terhadap habitat tertentu, sehingga perubahan pada komunitas kupu-kupu dapat menjadi indikator awal adanya gangguan lingkungan (López *et al.*, 2020; Yanuwiadi *et al.*, 2023; Dessì *et al.*, 2023).

Faktor yang mempengaruhi keberadaan kupu-kupu Keberagaman dan kelimpahan kupu-kupu sangat dipengaruhi oleh ketersediaan tumbuhan inang larva dan bunga sebagai sumber nektar (Yanuwiadi *et al.*, 2023; Hossain, 2023; Barbosa & Arof, 2024; Apriani *et al.*, 2020). Faktor seperti suhu, kelembapan, intensitas cahaya, kecepatan angin, dan ketinggian memengaruhi distribusi dan aktivitas kupu-kupu (Yanuwiadi *et al.*, 2023; Apriani *et al.*, 2020). Kupu-kupu lebih banyak ditemukan pada pagi hari, terutama antara pukul 7.30–9.30 (Apriani *et al.*, 2020).

Tidak hanya faktor lingkungan kupu-kupu juga dapat terpengaruh keberadaannya karena faktor antropogenik. Aktivitas manusia seperti urbanisasi, pertanian, dan

deforestasi menurunkan keanekaragaman dan kelimpahan kupu-kupu (López *et al.*, 2020; Yanuwadi *et al.*, 2023; Barbosa & Arof, 2024; Apriani *et al.*, 2020; Das, 2022). Kupu-kupu sensitif terhadap polusi udara, seperti partikel PM<sub>10</sub>, yang dapat menyebabkan kerusakan genetik pada larva (Dessi *et al.*, 2023). Upaya konservasi habitat, termasuk ekowisata, dapat membantu menjaga populasi kupu-kupu (Apriani *et al.*, 2020).

#### d. Taman Lalu Lintas Kota Bandung



**Gambar 2.22** Lokasi Penelitian Taman Lalu Lintas Kota Bandung  
(Sumber Google Earth)

Taman Lalu Lintas Kota Bandung adalah salah satu ruang terbuka hijau yang berfungsi sebagai taman edukasi dan rekreasi. Terletak di Jalan Belitung No.1, Kecamatan Sumur Bandung, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia memiliki letak geografis  $107.6167^{\circ}$  BT  $-6.9129^{\circ}$  LS Taman ini tidak hanya menyediakan fasilitas untuk masyarakat, tetapi juga berperan penting dalam mendukung keanekaragaman hayati, termasuk spesies Kupu-kupu (*Lepidoptera*) dan serangga lainnya. Sebagai salah satu ruang hijau di perkotaan, memiliki beberapa zona ekologis yang beragam yang masing-masing memiliki fungsi dan karakteristik tersendiri. Zona vegetasi lebat terdiri dari koleksi pohon besar seperti angkana (*Pterocarpus indicus*), mahoni (*Swietenia macrophylla*), beringin (*Ficus benjamina*), pinus (*Pinus merkusii*), dan kipaya (*Cupressus sempervirens*). Pohon-pohon besar ini berperan dalam menyediakan habitat yang mendukung kehidupan Kupu-kupu (*Lepidoptera*), seperti tempat berteduh, lokasi bertengger, serta area untuk berlindung dari predator. Struktur vegetasi yang lebat juga memberikan iklim mikro yang lebih stabil dengan kelembaban yang lebih tinggi dan suhu yang lebih rendah dibandingkan area terbuka. Studi sebelumnya

menunjukkan bahwa Kupu-kupu (*Lepidoptera*) cenderung lebih aktif di area dengan naungan yang cukup karena memberikan perlindungan dari panas matahari yang berlebihan dan kondisi lingkungan yang ekstrem. Zona vegetasi tanaman bunga. Zona ini terdiri dari berbagai jenis tanaman berbunga seperti bunga soka (*Ixora sp.*), Nusa Indah Putih, *Calathea silver*, tanaman Heliconia, dan tanaman iris. Tanaman berbunga ini menjadi sumber makanan utama bagi Kupu-kupu (*Lepidoptera*) dalam bentuk nektar, yang merupakan komponen penting dalam siklus hidup mereka.

Dengan adanya variasi zona ekologis dalam taman, keanekaragaman Kupu-kupu (*Lepidoptera*) dapat lebih terjaga dengan tersedianya berbagai kebutuhan habitat dalam satu kawasan. Setiap zona memberikan kontribusi spesifik dalam mendukung siklus hidup Kupu-kupu (*Lepidoptera*), mulai dari tempat bertelur, berkembang biak, hingga mencari makan. Penelitian tentang hubungan antara zona ekologis dan keberadaan Kupu-kupu (*Lepidoptera*) sangat penting untuk memahami bagaimana taman kota dapat dioptimalkan sebagai habitat yang ramah bagi keanekaragaman hayati.

## B. Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian terdahulu merupakan analisis dari penelitian yang sudah ada dan berkaitan dengan masalah yang akan diteliti. Hasil analisis dibutuhkan untuk bahan yang melandasi penelitian, teori tambahan yang mendukung dan relevan dengan apa yang diteliti. Hasil penelitian disusun berupa tabel dengan menjabarkan penulis dan tahun terbit jurnal, tujuan dari penelitian, metode yang digunakan serta hasil penelitian yang dihubungkan dengan penelitian yang akan diteliti, yang disajikan dalam Tabel 2.1

**Tabel 2.1** Penelitian Terdahulu

No	Peneliti dan Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Siva Devi Azahra (2021)	Potensi Jenis Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> ) sebagai Bioindikator Kondisi Lingkungan Kawasan Perkotaan	Mengkaji potensi jenis Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> ) sebagai bioindikator dengan menganalisis hubungan keberadaannya dengan	- Metode Pollard <i>Transect</i> (pengamatan Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> ) sepanjang 500 meter). - Analisis Redundancy	- Ditemukan 22 jenis Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> ) di 4 lokasi dengan gangguan lingkungan berbeda. - <i>Ypthima horsfieldii</i> dan <i>Polyura hebe</i> menunjukkan habitat

			karakteristik lingkungan.	Analysis (RDA) dan kriteria sifat umum/respons Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> ).	dengan gangguan rendah. - <i>Papilio demelion</i> menunjukkan habitat terganggu.
2.	Kinrara Yuri Trovican & Ulfi Faizah (2024)	Keanekaragaman Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> ) sebagai Parameter Kondisi Lingkungan di Kawasan Hutan Bambu Keputih Surabaya	Mendesripsikan keanekaragaman Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> ) dan menganalisisnya sebagai parameter kondisi lingkungan di Hutan Bambu Keputih.	-Metode Jelajah (road sampling) di 3 jalur. -Analisis Indeks Keanekaragaman <i>Shannon-Wiener</i> dan pemerataan.	-Ditemukan 8 spesies Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> ) (82 individu) dengan indeks keanekaragaman ( $H'=1.8$ ) sedang. - Mayoritas Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> ) ditemukan di vegetasi bunga, menunjukkan kualitas lingkungan yang baik.
3.	Nelyzza & Ika Kusuma Ningsih	Keanekaragaman Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> ) di Ruang Terbuka Hijau Taman Abhirama, Kabupaten Sidoarjo	Menganalisis keanekaragaman Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> ) di Taman Abhirama sebagai habitat ekowisata.	- Metode Sweep net di 4 transek. Analisis Identifikasi morfologi dan indeks keanekaragaman <i>Shannon-Wiener</i> .	- Ditemukan 10 spesies Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> ) (21 individu) dengan indeks keanekaragaman ( $H'=2.202$ ) sedang. -Famili Nymphalidae dominan (17 individu), menunjukkan adaptasi tinggi terhadap lingkungan taman.
4.	Rahadian Bimo Wicaksono dkk. (2023)	Keanekaragaman Jenis Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> ) di Lahan Budidaya Goalpara-Perbawati Kabupaten Sukabumi	Mengidentifikasi keanekaragaman jenis Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> ) di lahan budidaya Goalpara-Perbawati.	- <i>Transect</i> line (100 m x 10 m, durasi 30 menit). - Analisis indeks keanekaragaman <i>Shannon-Wiener</i> ( $H'$ ) dan pemerataan ( $E$ ).	- Ditemukan 19 spesies dari 3 suku (terbanyak Nymphalidae). - Dominasi <i>Yphima pandocus</i> dan <i>Eurema blanda</i> . - Indeks $H' = 2.23$ (sedang), $E = 0.76$ (tinggi). - Habitat terbuka (kebun teh) memiliki keanekaragaman tertinggi.
5.	Bayu Kurniawan dkk. (2020)	Keanekaragaman Species Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> )	Mengidentifikasi jenis, menganalisis keanekaragamandan kemelimpahan	- Eksploratif dengan jaring serangga.	- Ditemukan 16 spesies dari 3 famili (terbanyak Nymphalidae). -

		pada Habitat Eko-wisata Taman Bunga Merangin Garden Bangko Jambiaman	Kupu-kupu ( <i>Lepidoptera</i> ) di Taman Bunga Merangin.	- Analisis indeks <i>Shannon- Wiener</i> dan Simpso	Dominasi <i>Junonia orithya</i> (16,4%). - Indeks H' tertinggi = 2.68 (sedang), terendah = 2.40. -Kehadiran Kupu- kupu ( <i>Lepidoptera</i> ) tertinggi pukul 07.30–09.30 WIB.
--	--	---	--	--	---

Penelitian yang dilakukan oleh Siva Devi Azahra pada tahun 2021 berjudul "Potensi Jenis Kupu-kupu (*Lepidoptera*) sebagai Bioindikator Kondisi Lingkungan Kawasan Perkotaan" mengkaji secara mendalam potensi berbagai jenis Kupu-kupu (*Lepidoptera*) sebagai indikator biologis kondisi lingkungan perkotaan. Peneliti menggunakan metode *Pollard Transect* dengan melakukan pengamatan Kupu-kupu (*Lepidoptera*) sepanjang jalur 500 meter, dilengkapi dengan analisis data menggunakan *Redundancy Analysis* (RDA) dan kriteria sifat umum respons kupu-kupu (*Lepidoptera*) terhadap lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan keberadaan 22 jenis Kupu-kupu (*Lepidoptera*) yang tersebar di 4 lokasi dengan tingkat gangguan lingkungan yang berbeda-beda. Temuan penting penelitian ini adalah identifikasi *Ypthima horsfieldii* dan *Polyura hebe* sebagai spesies indikator habitat.

Penelitian selanjutnya oleh Kinrara Yuri Trovican dan Ulfi Faizah pada tahun 2024 berjudul "Keanekaragaman Kupu-kupu (*Lepidoptera*) sebagai Parameter Kondisi Lingkungan di Kawasan Hutan Bambu Keputih Surabaya" bertujuan mendeskripsikan keanekaragaman Kupu-kupu (*Lepidoptera*) dan menganalisisnya sebagai parameter kondisi lingkungan di kawasan hutan bambu. Peneliti mengimplementasikan metode jelajah (*road sampling*) pada 3 jalur berbeda dengan analisis data menggunakan indeks keanekaragaman *Shannon-Wiener* dan indeks pemerataan. Berdasarkan penelitian ini, teridentifikasi 8 spesies Kupu-kupu (*Lepidoptera*) dengan total 82 individu, menghasilkan indeks keanekaragaman ( $H'=1.8$ ) yang tergolong sedang. Mayoritas Kupu-kupu (*Lepidoptera*) ditemukan berasosiasi dengan vegetasi berbunga, yang menurut peneliti mengindikasikan kualitas lingkungan yang baik di kawasan tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh Nelyzza dan Ika Kusuma Ningsih berjudul "Keanekaragaman Kupu-kupu (*Lepidoptera*) di Ruang Terbuka Hijau Taman Abhirama, Kabupaten Sidoarjo" berfokus pada analisis keanekaragaman Kupu-kupu (*Lepidoptera*) di taman kota sebagai habitat ekowisata. Metode yang digunakan adalah *swept net* dengan *transect belt* di 3 transek pengamatan yang berbeda, dilanjutkan dengan identifikasi morfologi dan perhitungan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener. Penelitian ini berhasil mengidentifikasi 10 spesies Kupu-kupu (*Lepidoptera*) dengan total 21 individu, menghasilkan indeks keanekaragaman ( $H'=2.202$ ) yang termasuk dalam kategori sedang. Temuan menarik dari penelitian ini adalah dominasi famili *Nymphalidae* yang mencapai 17 individu, menunjukkan tingkat adaptasi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan taman kota.

Kajian yang dilakukan oleh Rahadian Bimo Wicaksono dan rekan pada tahun 2023 berjudul "Keanekaragaman Jenis Kupu-kupu (*Lepidoptera*) di Lahan Budidaya Goalpara-Perbawati Kabupaten Sukabumi" mengidentifikasi keanekaragaman jenis Kupu-kupu (*Lepidoptera*) di kawasan budidaya. Peneliti menggunakan metode *Transect belt* dengan dimensi 100 m x 10 m selama durasi 30 menit, disertai analisis indeks *Shannon-Wiener* ( $H'$ ) untuk keanekaragaman dan indeks kemerataan ( $E$ ). Hasil penelitian menunjukkan keberadaan 19 spesies dari 3 suku dengan dominasi famili *Nymphalidae*, serta dominasi spesies *Yphima pandocus* dan *Eurema blanda*. Nilai indeks keanekaragaman  $H'$  sebesar 2.23 mengindikasikan tingkat keanekaragaman sedang, sedangkan nilai kemerataan  $E$  sebesar 0.76 menunjukkan tingkat kemerataan yang tinggi. Temuan penting lainnya adalah habitat terbuka berupa kebun teh memiliki tingkat keanekaragaman Kupu-kupu (*Lepidoptera*) tertinggi dibandingkan habitat lainnya.

Studi yang dilakukan oleh Bayu Kurniawan dan tim pada tahun 2020 berjudul "Keanekaragaman Species Kupu-kupu (*Lepidoptera*) pada Habitat Ekowisata Taman Bunga Merangin Garden Bangko Jambi" mengidentifikasi jenis serta menganalisis keanekaragaman dan kelimpahan Kupu-kupu (*Lepidoptera*) di taman bunga. Penelitian ini menggunakan metode eksploratif dengan jaring serangga, dilengkapi analisis indeks *Shannon-Wiener* dan *Simpson*. Tim peneliti berhasil mengidentifikasi 16 spesies dari

3 famili dengan dominasi famili *Nymphalidae*, serta dominasi spesies *Junonia orithya* sebesar 16,4%. Nilai indeks keanekaragaman *Shannon-Wiener* tertinggi mencapai 2.68 (kategori sedang) dan terendah 2.40. Temuan menarik dari penelitian ini adalah pola aktivitas Kupu-kupu (*Lepidoptera*) yang menunjukkan kehadiran tertinggi pada pukul 07.30–09.30 WIB, mengindikasikan pengaruh faktor waktu terhadap aktivitas Kupu-kupu (*Lepidoptera*) di habitat tersebut.

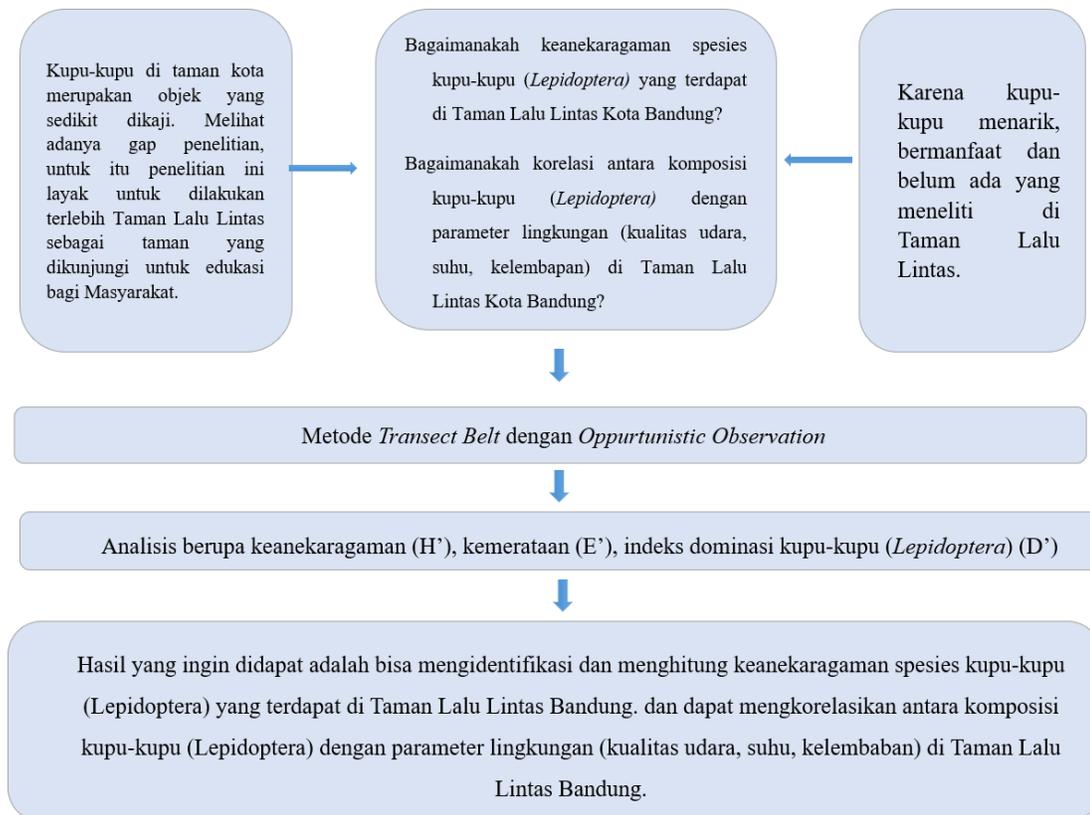
Penelitian yang dilakukan oleh Siva Devi Azahra (2021) berjudul "*Potensi Jenis Kupu-kupu (Lepidoptera) sebagai Bioindikator Kondisi Lingkungan Kawasan Perkotaan*" dan oleh Kinrara Yuri Trovican dan Ulfi Faizah (2024) memiliki kesamaan dalam mengkaji keanekaragaman Kupu-kupu (*Lepidoptera*) sebagai bioindikator lingkungan. Keduanya menggunakan metode transek dan analisis indeks keanekaragaman untuk menilai kondisi habitat. Azahra (2021) menggunakan metode *Pollard Transect* dengan analisis *Redundancy Analysis* (RDA), sedangkan Trovican dan Faizah (2024) menggunakan metode jelajah (*road sampling*) dan indeks keanekaragaman *Shannon-Wiener*. Keduanya meneliti habitat dengan gangguan lingkungan yang berbeda, tetapi tidak mengkaji dampak spesifik dari polusi lalu lintas terhadap keanekaragaman Kupu-kupu (*Lepidoptera*). Demikian pula, penelitian Nelyzza dan Ika Kusuma Ningsih (2023) di Taman Abhirama dan penelitian Rahadian (2023) di lahan budidaya Goalpara Sukabumi, meskipun menggunakan metode yang serupa dan menghasilkan hasil keanekaragaman yang tergolong sedang, tidak mencakup pengaruh polusi lalu lintas yang menjadi fokus utama dalam penelitian saya.

Penelitian tentang keanekaragaman Kupu-kupu (*Lepidoptera*) sebagai bioindikator di Taman Lalu Lintas Bandung mengisi celah ilmiah yang belum ada penelitian sebelumnya. Meskipun penelitian serupa telah dilakukan di hutan kota atau taman umum (e.g., Surabaya dan Sidoarjo), belum ada kajian di taman kota yang lokasinya erat dengan jalan raya, dan tinggi aktivitas pengunjung di Taman Lalu Lintas Bandung.

### **C. Kerangka Pemikiran**

Kupu-kupu (*Lepidoptera*) di taman kota merupakan objek penelitian yang masih jarang dikaji, padahal memiliki nilai ekologis, estetis, dan edukatif yang penting. Salah

satu taman kota yang potensial untuk menjadi lokasi penelitian adalah Taman Lalu Lintas Kota Bandung, karena merupakan taman yang ramai dikunjungi masyarakat dan memiliki fungsi edukasi. Melihat adanya kesenjangan penelitian terkait Kupu-kupu (*Lepidoptera*) di kawasan ini, penelitian ini layak untuk dilakukan. Fokus utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana keanekaragaman spesies Kupu-kupu (*Lepidoptera*) (ordo *Lepidoptera*) yang terdapat di Taman Lalu Lintas Kota Bandung serta bagaimana korelasi antara komposisi Kupu-kupu (*Lepidoptera*) tersebut dengan parameter lingkungan seperti kualitas udara, suhu, dan kelembaban. Penelitian ini penting dilakukan karena Kupu-kupu (*Lepidoptera*) merupakan organisme yang menarik, bermanfaat, dan sampai saat ini belum banyak diteliti di taman tersebut. Untuk menjawab pertanyaan penelitian, digunakan metode *Transect belt* dengan pendekatan *opportunistic observation*, di mana Kupu-kupu (*Lepidoptera*) diamati secara langsung di jalur pengamatan yang telah ditentukan. Data yang dikumpulkan kemudian dianalisis untuk menghitung indeks keanekaragaman ( $H'$ ), kemerataan ( $E'$ ), dan dominasi spesies Kupu-kupu (*Lepidoptera*) ( $D'$ ). Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh identifikasi spesies Kupu-kupu (*Lepidoptera*) yang ada, tingkat keanekaragamannya, serta hubungan antara keberadaan Kupu-kupu (*Lepidoptera*) dengan kondisi lingkungan di Taman Lalu Lintas.



**Gambar 2.23** Kerangka Berfikir Keanekaragaman Kupu-kupu (*Lepidoptera* Sebagai Bioindikator Lingkungan di Taman Lalu Lintas Kota Bandung (Sumber: *Ibis peneliti*, 2025)