

**PERKEMBANGAN TEKNOLOGI IDENTIFIKASI SERANGGA
DARI ZAMAN KE ZAMAN**

***DEVELOPMENT OF INSECT IDENTIFICATION TECHNOLOGY
FROM ERA TO ERA***

Gusti Indriati*¹ dan Purnama Hidayat²

¹Pusat Riset Pertanian dan Pangan, Organisasi Riset Perkebunan dan Hortikultura Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. Raya Jakarta-Bogor km. 46, Cibinong, Kab. Bogor, Jawa Barat

²Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus Dramaga , Jl. Kamper, Babakan, Kec. Dramaga, Kab. Bogor, Jawa Barat

*e-mail: indriatigusti@gmail.com

ABSTRAK

Klasifikasi serangga dilakukan dengan berbagai teknik identifikasi yaitu secara konvensional maupun modern. Teknik identifikasi yang akurat terhadap spesies serangga merupakan kunci penting dalam menentukan suatu tindakan pengendalian hama yang efektif. Klasifikasi serangga dan metode identifikasi serangga saling terkait karena klasifikasi yang tepat menjadi dasar yang diperlukan untuk metode identifikasi yang efektif. Perkembangan klasifikasi serangga yang didasarkan pada waktu dibedakan dalam beberapa tahap, yaitu : Era Pra-Linnean, Era Linnean, Era Darwin, dan Era Hennigian. Metode tradisional identifikasi serangga hama dilakukan secara manual untuk mengenali dan mengklasifikasikan serangga hama berdasarkan ciri-ciri morfologi, anatomi, dan karakteristik lainnya. Meskipun metode ini cenderung lebih lambat dan memerlukan keahlian tangan yang tinggi, namun tetap menjadi dasar penting dalam taksonomi. Kemajuan pesat di dunia riset membutuhkan peningkatan kualitas dan kecepatan waktu sehingga memerlukan metode identifikasi serangga modern dan terkini seperti Next-Generation Sequencing (NGS), DNA Barcoding, Computer Vision, Mobile Apps and Citizen Science, dan Micro CT Scanning. Untuk mendukung penerapan teknologi modern memerlukan pengembangan perangkat lunak, peralatan khusus, dan validasi yang cermat untuk memastikan akurasi dan efisiensi serta sumber daya manusia. Perpaduan antara teknologi maju dan metode tradisional mungkin menjadi pendekatan yang paling efektif dalam identifikasi taksonomi serangga.

Kata kunci: identifikasi, taksonomi, serangga, perkembangan, teknologi

ABSTRACT

Insect classification is carried out using various identification techniques, namely conventional and modern. Accurate identification techniques for insect species are an important key in determining effective pest control measures. Insect classification and insect identification methods are interrelated because proper

classification is a necessary basis for effective identification methods. The development of insect classification based on time is divided into several stages, namely: Pre-Linnean Era, Linnean Era, Darwinian Era, and Hennigian Era. The traditional method of identifying pest insects is done manually to recognize and classify pest insects based on morphological, anatomical and other characteristics. Although this method tends to be slower and requires a high degree of manual skill, it remains an important basis for taxonomy. Rapid progress in the world of research requires increased quality and speed of time, thus requiring modern and up-to-date insect identification methods such as Next-Generation Sequencing (NGS), DNA Barcoding, Computer Vision, Mobile Apps and Citizen Science, and Micro CT Scanning. Supporting the implementation of modern technology requires software development, specialized equipment, and careful validation to ensure accuracy and efficiency as well as human resources. A combination of advanced technology and traditional methods may be the most effective approach in insect taxonomy identification.

Keywords: identification, taxonomy, insects, development, technology

PENDAHULUAN

Serangga berperan penting dalam ekosistem sehingga keragamannya perlu dijaga dan dilestarikan. Beberapa spesies serangga disebut sebagai serangga berguna seperti serangga penyerbuk, pengendali biologi (predator, parasitoid), akan tetapi ada juga beberapa spesies serangga disebut sebagai hama (Amarathunga, *et al.* 2021).

Serangga hama merupakan salah satu faktor yang dapat menurunkan produktivitas tanaman bahkan dapat menyebabkan gagal panen sehingga berdampak terhadap kehidupan petani. Oleh karena itu, diperlukan usaha pengendalian yang tepat, yaitu dengan mengetahui terlebih dahulu identitas serangga yang menimbulkan kerusakan melalui kegiatan identifikasi serangga hama. Identitas serangga sangat penting diketahui agar dapat diperoleh dengan jelas informasi karakteristik morfologi maupun bioekologi dari setiap spesies serangga hama, baik dari sumber pustaka maupun pengamatan langsung. Teknik identifikasi yang akurat terhadap spesies serangga merupakan kunci penting dalam menentukan suatu tindakan pengendalian hama yang efektif. Klasifikasi didefinisikan sebagai cara atau kerangka kerja yang digunakan untuk menemukan pola-pola tertentu dalam suatu keanekaragaman. Kata klasifikasi terkadang

disama artikan dengan kata identifikasi yang didefinisikan sebagai kegiatan untuk mengenali spesies atau jenis makhluk hidup.

Pada makalah ini akan ditelaah mengenai teknologi identifikasi serangga secara konvensional hingga modern dari zaman ke zaman.

Sejarah Identifikasi Serangga

Identifikasi adalah proses (cara) pemberian nama pada individu atau sekelompok individu. Penamaan spesies mengacu pada sistem pemberian nama ilmiah (*scientific name*) berupa *binomial name*, yaitu penggabungan dua kata yang mencirikan sifat dari individu yang diberi nama.

Klasifikasi serangga dan metode identifikasi serangga saling terkait karena klasifikasi yang tepat menjadi dasar yang diperlukan untuk metode identifikasi yang efektif. Klasifikasi yang baik membantu dalam mengorganisasi serangga ke dalam kelompok-kelompok yang memiliki karakteristik serupa, sehingga memudahkan proses identifikasi.

Klasifikasi serangga telah berkembang hingga ratusan tahun lalu dan serangga tidak mudah untuk diklasifikasikan sehingga ada beberapa serangga yang perlu diklasifikasi ulang (Kumar, *et al.* 2020). Klasifikasi serangga dilakukan dengan berbagai teknik identifikasi yaitu secara konvensional seperti pengamatan morfologi langsung dan menyesuaikannya dengan Buku Kunci Identifikasi Serangga, maupun referensi lain yang berkaitan dengan Taksonomi Serangga. Identifikasi serangga tidak terlepas dari pengetahuan tentang taksonomi, yang merupakan cabang ilmu biologi dalam pengelompokan, pengklasifikasian, pendeskripsian, dan pemberian nama suatu organisme termasuk serangga juga berpegang pada karakter morfologi (Rocha *et al.*, 2020). Teknik lain yang lebih modern dan terkini antara lain Computer Vision, Mobile Apps and Citizen Science, Next-Generation Sequencing (NGS) (Gupta & Verma, 2019), maupun DNA Barcoding (Lopez-Rubio *et al.* 2016). Namun demikian, teknik identifikasi konvensional maupun modern masing-masing mempunyai kelebihan dan keunggulan sehingga penggunaannya perlu disesuaikan dengan kebutuhan.

Perkembangan klasifikasi serangga yang didasarkan pada waktu dibedakan dalam beberapa tahap, yaitu : Era Pra-Linnean, Era Linnean, Era

Darwin, dan Era Hennigian dan perkembangan lainnya (Engel & Kristensen, 2013 dalam Kumar *et al.* 2020). Pada setiap tahapan, metode identifikasi serangga terus berkembang dan diperbaiki seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang tersedia pada saat itu.

Era Pra-Linnean

Era ini dimulai sejak zaman kuno hingga abad ke-17. Pada era ini, klasifikasi serangga didasarkan pada karakteristik fisik yang kasar dan tidak teratur. Tokoh yang memberikan kontribusi pada era ini adalah Aristoteles.

Era Linnean

Era ini dimulai pada abad ke-18 dan dinamakan sesuai dengan nama Carolus Linnaeus, seorang ahli botani dan zoologi terkenal. Pada era ini, klasifikasi serangga didasarkan pada sistem binomial yang mengelompokkan serangga berdasarkan karakteristik fisik yang lebih teratur dan spesifik.

Era Darwin

Era ini dimulai pada abad ke-19 setelah Charles Darwin memperkenalkan teori seleksi alam. Pada era ini, klasifikasi serangga didasarkan pada evolusi dan hubungan kekerabatan antara spesies. Ahli entomologi seperti James Dwight Dana memberikan kontribusi pada era ini dengan menekankan pada derajat kepala (cephalization) serangga.

Era Hennigian

Era ini dimulai pada abad ke-20 dan dinamakan Willi Hennig, seorang ahli taksonomi yang memperkenalkan sistem filogenetik. Pada era ini, klasifikasi serangga didasarkan pada hubungan kekerabatan yang lebih jelas dan spesifik antara spesies. Metode baru seperti analisis filogenetik molekuler dan morfologi memainkan peran penting dalam era ini.

IDENTIFIKASI SERANGGA

Metode Identifikasi Tradisional

Metode identifikasi tradisional

Identifikasi berbasis morfologi adalah metode identifikasi serangga yang bergantung pada pengamatan dan perbandingan ciri-ciri fisik atau morfologi

serangga, seperti ukuran, warna, bentuk tubuh, sayap, kaki, dan struktur tubuh lainnya.

Langkah-langkah dalam identifikasi berbasis morfologi yaitu:

1. Melakukan pengamatan awal serangga yang akan diidentifikasi melalui pengamatan ciri-ciri fisiknya, seperti warna, ukuran, dan bentuk umum.
2. Penggunaan panduan identifikasi dengan menggunakan panduan atau kunci identifikasi yang telah disusun sebelumnya. Panduan ini mencakup serangkaian 90 teknik langkah dan deskripsi karakteristik yang memungkinkan Anda mengidentifikasi serangga ke tingkat spesies atau kelompok yang lebih besar.
3. Pencocokan ciri-ciri serangga yang diamati dengan deskripsi yang ada dalam panduan identifikasi. Ini melibatkan perbandingan warna, ukuran, bentuk tubuh, pola pada sayap, jumlah segmen, dan karakteristik lainnya.

Metode ini seringkali dapat digunakan oleh banyak orang, termasuk mereka yang tidak memiliki akses ke peralatan canggih, dapat digunakan saat di lapangan tanpa perlu peralatan laboratorium. Akan tetapi identifikasi berbasis morfologi umumnya terbatas dan tidak cukup untuk mengidentifikasi hingga tingkat spesies yang sangat mirip secara morfologi. Diperlukan panduan atau pengetahuan yang kuat tentang karakteristik serangga dan penggunaan panduan identifikasi yang akurat.

Identifikasi berbasis morfologi adalah metode tradisional yang masih banyak digunakan dalam studi serangga, terutama dilakukan oleh entomologis atau ahli taksonomi yang berpengalaman. Namun, metode ini dapat ditingkatkan dan didukung dengan teknologi modern seperti fotografi digital dan perangkat lunak analisis citra untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi identifikasi.

Metode tradisional identifikasi serangga hama adalah pendekatan manual yang telah digunakan sejak lama untuk mengenali dan mengklasifikasikan serangga hama berdasarkan ciri-ciri morfologi, anatomi, dan karakteristik lainnya. Meskipun metode ini cenderung lebih lambat dan memerlukan keahlian tangan yang tinggi, namun tetap menjadi dasar penting dalam taksonomi dan pemahaman tentang serangga hama. Berikut adalah beberapa metode tradisional identifikasi serangga hama:

1. Pengumpulan Spesimen: Spesimen serangga hama yang ditemukan di lapangan dikumpulkan untuk dianalisis lebih lanjut. Spesimen bisa berupa serangga dewasa, telur, larva, pupa, atau bagian tubuh lainnya.
2. Pengamatan Morfologi: Serangga hama dianalisis berdasarkan ciri-ciri morfologi seperti bentuk tubuh, ukuran, warna, dan bagian-bagian tubuh seperti sayap, mata, dan kaki.
3. Menggunakan Kunci Identifikasi: Kunci identifikasi adalah alat berbasis pertanyaan yang membantu mengarahkan pemakai untuk memutuskan ciri-ciri mana yang relevan. Pemakai harus menjawab serangkaian pertanyaan dan memilih pilihan yang paling sesuai dengan karakteristik serangga yang diamati. Ini akan membimbing mereka melalui tahap-tahap identifikasi hingga akhirnya mencapai identifikasi spesies yang tepat.
4. Perbandingan dengan Referensi: Serangga hama yang diidentifikasi dapat dibandingkan dengan koleksi referensi seperti buku panduan, katalog taksonomi, atau museum. Perbandingan ini membantu memastikan bahwa identifikasi yang dilakukan akurat.
5. Pembuatan Spesimen Tetap: Setelah identifikasi dilakukan, serangga hama dapat disimpan sebagai koleksi museum atau ilmiah. Ini penting untuk dokumentasi dan referensi di masa mendatang.
6. Keahlian Ahli: Metode tradisional identifikasi serangga hama memerlukan keahlian ahli dalam taksonomi serangga dan pengenalan ciri-ciri yang halus. Keterampilan ini biasanya didapatkan melalui pelatihan, pengalaman, dan studi mendalam

Meskipun metode tradisional identifikasi serangga hama memiliki kelemahan seperti waktu yang diperlukan dan keterbatasan dalam mengidentifikasi spesies yang sangat mirip, metode ini masih berperan penting dalam pengumpulan data awal, penyelidikan lapangan, dan penelitian taksonomi. Namun, dengan kemajuan teknologi, pendekatan modern seperti analisis DNA dan teknologi penglihatan menjadi bagian penting dari identifikasi serangga hama.

Kendala dan tantangan dalam identifikasi taksonomi tradisional

Identifikasi taksonomi tradisional sering kali dihadapkan pada berbagai kendala dan tantangan yang dapat mempengaruhi akurasi dan efisiensi proses

identifikasi. Beberapa kendala dan tantangan utama dalam identifikasi taksonomi tradisional meliputi:

1. Variabilitas Morfologi: Serangga dari spesies yang sama dapat menunjukkan variasi morfologi yang signifikan, terutama dalam populasi yang berbeda geografis atau lingkungan. Hal ini dapat menyulitkan pembedaan antara spesies yang serupa.
2. Polimorfisme: Beberapa spesies serangga memiliki polimorfisme, yaitu variasi dalam bentuk dan warna antara individu yang berbeda dalam satu spesies. Polimorfisme ini dapat menyebabkan kesulitan dalam mengenali karakteristik spesifik.
3. Konvergensi Evolusi: Konvergensi terjadi 92eknik spesies yang tidak berhubungan secara evolusi mengembangkan ciri-ciri serupa sebagai respons terhadap tekanan lingkungan yang serupa. Hal ini dapat mengakibatkan kesulitan dalam membedakan spesies berdasarkan ciri-ciri tertentu.
4. Ciri-Ciri Mikroskopis: Beberapa karakteristik penting dalam identifikasi serangga hama mungkin bersifat mikroskopis dan sulit diamati tanpa peralatan yang sesuai. Ini memerlukan keahlian teknis dan peralatan tambahan untuk pengamatan.
5. Spesies yang Mirip: Serangga dari spesies yang berbeda namun sangat mirip secara morfologi bisa menjadi sulit dibedakan. Dalam beberapa kasus, perlu dilakukan analisis lebih mendalam, termasuk menggunakan metode molekuler, untuk membedakan dengan pasti.
6. Kurangnya Sumber Referensi: Terkadang, referensi yang mencakup gambar dan deskripsi spesies-serangga yang cukup lengkap mungkin tidak tersedia, sehingga menghambat kemampuan untuk mengidentifikasi spesies yang kurang dikenal.
7. Kurangnya Keahlian: Identifikasi serangga hama memerlukan keahlian tingkat tinggi dalam taksonomi dan morfologi. Kurangnya pelatihan dan pengalaman dalam bidang ini dapat menyebabkan kesalahan identifikasi.
8. Kurangnya Waktu: Identifikasi serangga hama secara tradisional memerlukan waktu yang cukup lama terutama karena 92eknik92-langkah manual yang diperlukan, terutama dalam kasus spesies yang kompleks.

9. Pengaruh Perubahan Lingkungan: Perubahan lingkungan, seperti perubahan iklim dan habitat, dapat mempengaruhi ciri-ciri morfologi serangga. Ini bisa mengaburkan karakteristik yang biasanya digunakan untuk identifikasi.

10. Kerusakan Spesimen: Spesimen yang tidak disimpan atau ditangani dengan baik dapat mengalami kerusakan atau perubahan morfologi yang membuat identifikasi menjadi sulit.

Dalam mengatasi tantangan-tantangan ini, para taksonomis serangga perlu mengembangkan keahlian yang mendalam, menggunakan teknik bantu seperti penggunaan mikroskop dan analisis molekuler, serta memanfaatkan teknologi yang makin canggih dalam identifikasi serangga hama.

Teknologi Maju dalam Identifikasi Taksonomi Hama

Teknologi maju telah membawa inovasi signifikan dalam bidang identifikasi taksonomi hama. Beberapa teknologi ini mampu mengatasi tantangan dan kendala yang seringkali dihadapi dalam metode tradisional identifikasi. Beberapa teknologi maju dalam identifikasi taksonomi hama.

Aplikasi teknologi maju dalam identifikasi taksonomi hama

Aplikasi teknologi maju dalam identifikasi taksonomi hama melibatkan pemanfaatan berbagai alat dan teknologi canggih untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan serangga hama secara lebih efisien dan akurat. Berikut adalah beberapa contoh bagaimana teknologi maju diterapkan dalam identifikasi taksonomi hama:

1. Analisis DNA (DNA Barcoding): Teknologi DNA barcoding melibatkan analisis sekuens DNA serangga hama untuk mengidentifikasi spesies secara akurat. Sebuah sampel DNA diambil dari serangga, diurutkan, dan dibandingkan dengan basis data DNA yang ada untuk menemukan kecocokan. Metode ini terutama efektif untuk mengidentifikasi serangga hama dalam bentuk yang sulit diidentifikasi secara visual.

DNA barcoding merupakan metode identifikasi spesies berbasis marka molekuler yang didasarkan pada sekuens DNA. Konsep metode ini adalah setiap spesies memiliki identitas genetik yang unik yang mencirikan spesies tersebut (Lopez-Rubio *et al.* 2016). DNA barcoding merupakan metode identifikasi

spesies menggunakan potongan DNA pendek yang disebut barcode DNA. Metode ini melibatkan analisis sekuens DNA unik dari serangga hama untuk mengidentifikasi spesies. Teknik ini khususnya efektif dalam mengidentifikasi spesies yang sulit dibedakan berdasarkan ciri-ciri morfologi, atau dalam kasus larva yang sulit diidentifikasi secara visual.

2. *Penglihatan Komputer (Computer Vision)*: Aplikasi penglihatan komputer digunakan untuk mengidentifikasi serangga hama berdasarkan gambar yang diambil dari kamera. Algoritma pembelajaran mesin diprogram untuk mengenali ciri-ciri khas spesies pada gambar, sehingga memungkinkan identifikasi otomatis dan cepat. Pengguna dapat mengambil gambar serangga dengan ponsel mereka dan menggunakan aplikasi yang akan memberikan hasil identifikasi.

3. *Next-Generation Sequencing (NGS)*: Merupakan metode sekuensing yang dikembangkan dengan tujuan untuk deep, high-throughput, dan dapat paralel dalam pengerjaan sekuensing (Gupta & Verma, 2019). Penggunaan NGS ini, memungkinkan peneliti melakukan sekuensing jutaan hingga milyaran nukleotida DNA dalam satu kali pengerjaan. Perkembangan alat sekuens NGS mampu mengungkap genom dengan biaya relatif terjangkau sehingga memungkinkan untuk melakukan pemetaan seluruh genom dari sebuah serangga (Sutrisno, 2020).

4. *Micro Computed Tomography Scanning (Micro CT Scanning)*: Pengembangan mikroskopis teknik pencitraan berbasis computed tomography yang mampu menggambarkan tiga dimensi suatu struktur hingga ke bagian internal terkecil dengan bantuan sinar-X (Rahman *et al.*, 2020).

5. *Blockchain and Digital Records*: adalah Teknologi yang digunakan sebagai sistem penyimpanan atau bank data secara digital yang terhubung dengan kriptografi. Teknologi ini mampu mengubah kemajuan ilmiah yang sedang dihadapi dengan memberikan akses ke semua orang melalui data real-time (CNBC, 2022).

6. *Mobile Apps and Citizen Science*: Aplikasi seluler yang memanfaatkan teknologi penglihatan komputer atau analisis molekuler memungkinkan pengguna untuk mengidentifikasi serangga secara real-time. Pengguna cukup mengambil gambar serangga dengan ponsel mereka, dan aplikasi akan memberikan hasil identifikasi dan informasi terkait.

7. Environmental DNA (eDNA) Analysis: DNA/RNA lingkungan atau eDNA/eRNA adalah materi genetik yang ada dalam sampel lingkungan, untuk mempelajari keanekaragaman hayati dan memantau perubahan ekosistem (Simon & Daniel, 2011).

8. Automated DNA Sequencers: adalah instrumen ilmiah yang digunakan untuk mengotomatiskan proses pengurutan masing-masing basa nukleotid dalam molekul DNA (G: guanin, C: sitosin, A: adenin dan T:timin) ditandai dan dibedakan dengan pewarna fluoresen yang sesuai (Global Education Needz).

9. Data Integration and AI: Teknologi AI dapat digunakan untuk mengembangkan model yang dapat mengidentifikasi serangga hama berdasarkan data yang diberikan. Semakin banyak data yang dimasukkan ke dalam model, semakin akurat model tersebut dalam mengenali spesies.

Penerapan teknologi ini memerlukan pengembangan perangkat lunak, peralatan khusus, dan validasi yang cermat untuk memastikan akurasi dan efisiensi. Namun, ketika diimplementasikan dengan baik, teknologi ini dapat secara signifikan meningkatkan kemampuan dalam identifikasi taksonomi hama.

Keunggulan teknologi maju dibandingkan metode tradisional

Keunggulan teknologi maju dalam identifikasi taksonomi hama dibandingkan dengan metode tradisional meliputi beberapa aspek penting yang telah mengatasi banyak kendala dan meningkatkan efisiensi serta akurasi identifikasi. Berikut adalah beberapa keunggulan utama teknologi maju:

Kecepatan dan Efisiensi: Teknologi maju seperti penglihatan komputer dan analisis DNA dapat mengidentifikasi serangga hama dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan metode tradisional. Ini memungkinkan penanganan lebih cepat dan respons yang lebih tepat terhadap potensi ancaman hama.

2. Akurasi yang Lebih Tinggi: Teknologi maju dapat mengenali ciri-ciri mikroskopis atau subtipe yang sulit diamati dengan mata telanjang. Ini dapat menghasilkan identifikasi yang lebih akurat, mengurangi risiko kesalahan yang sering terjadi dalam identifikasi berdasarkan ciri-ciri kasar.

3. Identifikasi Spesies yang Sulit Dibedakan: Teknologi maju, seperti analisis DNA, dapat membedakan spesies yang sangat mirip secara morfologi, yang mungkin tidak dapat dibedakan menggunakan metode tradisional. Salah satu

keunggulan identifikasi menggunakan DNA adalah berkurangnya keraguan dalam identifikasi jika karakter morfologi yang digunakan tidak lengkap.

4. Minimalkan Ketergantungan pada Keahlian Tangan: Sementara identifikasi tradisional memerlukan keahlian tinggi dalam taksonomi, teknologi maju seperti penglihatan komputer dan pembelajaran mesin mengurangi ketergantungan pada keahlian individu, sehingga memungkinkan identifikasi yang lebih konsisten dan dapat diandalkan.

5. Kemampuan Penyimpanan Data: Teknologi maju sering kali menghasilkan data digital yang dapat dengan mudah disimpan, diakses, dan dibagikan. Ini penting untuk pelacakan dan analisis jangka panjang terhadap perubahan populasi serangga hama.

6. Kemampuan Skala Besar: Teknologi seperti penglihatan komputer dan analisis DNA dapat dengan mudah digunakan untuk mengidentifikasi serangga hama dalam jumlah besar secara bersamaan, memungkinkan pemantauan efektif terhadap populasi hama di berbagai lokasi.

7. Integrasi dengan Teknologi Lain: Teknologi identifikasi serangga hama dapat diintegrasikan dengan teknologi lain seperti drone dan sensor jaringan, memungkinkan pemantauan yang lebih luas dan real-time atas populasi hama.

8. Kemampuan Pengenalan Cepat dan Mudah: Aplikasi seluler atau alat pengenalan serangga yang menggunakan teknologi maju memungkinkan petani atau ilmuwan dengan cepat mengidentifikasi hama.

9. Penemuan Spesies Baru: Teknologi identifikasi molekuler seperti analisis DNA juga telah memfasilitasi penemuan spesies baru atau subtipe yang mungkin sebelumnya terlewatkan dalam pengamatan tradisional.

Namun, perlu diingat bahwa teknologi maju juga memiliki batasan dan tantangan sendiri, seperti kebutuhan akan akses ke peralatan canggih, validasi metode, dan keterbatasan dalam mengidentifikasi hama yang belum dikenal secara genetik. Dalam prakteknya, kombinasi antara teknologi maju dan metode tradisional mungkin menjadi pendekatan yang paling efektif dalam identifikasi taksonomi hama.

TANTANGAN MASA DEPAN IDENTIFIKASI SERANGGA

Tantangan masa depan dalam identifikasi serangga sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya kemajuan teknologi yang saat ini begitu pesat. Pada masa *Internet of Things* (IoT) berbagai perangkat lunak komunikasi seperti android menyebabkan dengan cepat sebuah temuan di lapangan untuk segera dikonfirmasi ke sumber referensi untuk mendapatkan validasi identitas serangga secara *real time* (Sutrisno 2020). Wilayah Indonesia yang terdiri dari beribu pulau-pulau diharapkan jaringan internet dapat menjangkau ke daerah pelosok di Indonesia. Selain jaringan internet yang telah tersebar merata diharapkan semua masyarakat di wilayah Indonesia dapat mengakses jaringan internet dengan baik.

Hal lain yang tidak kalah penting adalah peningkatan kemampuan sumber daya manusia (SDM) yang melek teknologi sehingga program yang berbasis teknologi internet dengan lancar diaplikasikan. Sebagai contoh Kunci Lucid merupakan salah satu bentuk kunci identifikasi yang berbasis komputer yang dirancang agar mudah digunakan. Kelebihan dari kunci identifikasi berbasis program komputer tersebut adalah bersifat interaktif, multi-akses untuk beberapa karakter yang sesuai, serta dilengkapi gambar karakter khusus dari spesies, sehingga lebih memudahkan dalam proses identifikasi.

Perubahan lahan hutan menjadi perkebunan menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati termasuk serangga dan masih banyak serangga tersebut belum dilakukan identifikasi.

Upaya-upaya untuk mengembangkan penelitian taksonomi yang dapat mendukung pengendalian yang efektif menjadi sangat penting, meliputi pengkajian aspek morfologi, anatomi, bioekologi, dan perilaku suatu spesies serangga hama.

Pemahaman arti penting taksonomi di bidang entomologi dalam kaitannya dengan pengendalian serangga hama dibutuhkan upaya yang keras untuk mengembangkan penelitian di bidang taksonomi serangga sebagai dasar untuk mengelola populasinya di lapangan secara tepat.

SIMPULAN

Kecermatan taksonomi diperlukan untuk mengidentifikasi spesies dengan benar. Kebenaran identifikasi merupakan kunci untuk mengetahui lebih lanjut informasi habitat, sehingga tingkah laku (behaviour) jenis serangga yang sedang diteliti dapat di prediksi. Berkembangnya taksonomi moderen tetap harus menghargai taksonomi konvensional, karena taksonomi moderen merupakan kombinasi teknik konvensional dengan elemen penting lain seperti analisis genetik (biomolekuler), tingkah laku (behaviour), suara (acoustics), fisiologi, biokimia dan ekologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amarathunga DC, GrundyJb , Parry H, Dorin A. (2021). Methods of insect image capture and classification: A Systematic literature review. *Smart Agricultural Technology* I:1-17.
- CNBC. (2022). Mengenal Apa Itu Blockchain, Teknologi yang Mengubah Dunia. <https://www.cnbcindonesia.com/mymoney/20220217153629-72-316221>.
- Gupta, N., & Verma, V. K. (2019). Next-Generation Sequencing and Its Application: 412 Empowering in Public Health Beyond Reality. In *Microbial Technology for the Welfare of 413 Society* (pp. 313–341). https://doi.org/10.1007/978-981-13-8844-6_15.
- Kumar , R, Shashank, P.R. * Naresh, M. Meshram, Anooj, S. S. And Kolla Sreedevi. 2020. Evolution Of Modern Insect Classification: A Comprehensiveaccount. *J. Appl. Zool. Res.* (2020) (1): 1-15.
- Lopez-Rubio A, Suaza-VAsco J, Marcet PL, Ruiz-Molina N, Caceres L, Porter C, Uribe S (2016) Use of DNA barcoding to distinguish the malaria vector *Anopheles neivai* in Colombia. *Zootaxa* 4175: 377–389. doi: 10.11646/zootaxa.4175.4.7.
- Rahman FUA, Azhari, Epsilawati, R, Firman, RN and Pramanik F. (2020). Micro-Computed Tomography: Teknologi pencitraan mikroskopis berbasis Computed Tomography dan penggunaannya dalam analisis kualitas tulang. *Jurnal Radiologi Dentomaksilofasial Indonesia*, 4(3):111-116. <https://doi.org/10.32793/jrdi.v4i3.632>
- Rocha, I, Hoffmann, A., & Souto, P. (2020). Insect Morphology. In *Encyclopedia of Animal 459 Cognition and Behavior* (pp. 1–11). https://doi.org/10.1007/978-3-319-47829-6_1143-1
- Simon C & Daniel R. (2011). Metagonomic analyses: Past and future trends. *Applied And Environmental Microbiology*, 7(4): 1153–1161. doi:10.1128/AEM.02345-10.
- Sutrisno, H. 2020. Peran Sistematika Ngengat Untuk Mendukung Keefektifannya Dalam Pengendalian Hama. Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Zoologi. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. LIPI Press. 62 pp.