



EVALUASI VISUALISASI ChatGPT DALAM MENGGARAKAN SIFAT FENOTIPE *Heterotrigona itama* SEBAGAI AGEN POLINATOR KOPI

EVALUATION OF ChatGPT VISUALISATION IN CHARACTERISING PHENOTYPIC TRAITS OF *Heterotrigona itama* AS A COFFEE POLLINATOR AGENT

Priyambodo Priyambodo^{1*}, Nindy Permatasari²

**)Corresponding author*

¹Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

²Program Studi Pengelolaan Perkebunan Kopi, Jurusan Budidaya Tanaman Perkebunan Politeknik Negeri Lampung

*Email: priyambodo@fmipa.unila.ac.id

ABSTRAK

Kopi menjadi salah satu komoditas andalan Indonesia. Salah satu upaya peningkatan produksi kopi adalah dengan mengoptimalkan peran polinator, salah satunya *Heterotrigona itama*. Pengetahuan akan ciri morfologi sebagai sifat fenotipik *H. itama* perlu diinternalisasi oleh para petani kopi. ChatGPT sering dijadikan rujukan dalam memahami informasi yang baru, terlepas dari potensi bias yang dimiliki. Penelitian ini telah dilakukan dengan tujuan untuk melakukan evaluasi atas hasil visualisasi oleh ChatGPT terhadap ciri morfologi *H. itama*. Pelaksanaan visualisasi dilakukan dengan pemberian *prompt* khusus kepada ChatGPT untuk tiga karakter morfologi. Hasil visualisasi yang ditampilkan selanjutnya dievaluasi berdasarkan pustaka acuan dari dua buah artikel ilmiah tentang ciri morfologi *H. itama* di Indonesia. Hasil perbandingan antara visualisasi ChatGPT dengan pustaka acuan menunjukkan bahwa ChatGPT mampu melakukan visualisasi pada karakter umum saja, namun untuk hal-hal yang bersifat spesifik dan rinci, hasil visualisasi ChatGPT tidak akurat. Berdasarkan hasil ini perlu dilakukan pengecekan ulang apabila petani menggunakan ChatGPT sebagai referensi dalam mengenali *H. itama*.

Kata Kunci: ChatGPT, *H. itama*, Kopi

ABSTRACT

Coffee is one of Indonesia's flagship commodities. One of the strategies to increase coffee production is by optimising the role of pollinators, one of which is *Heterotrigona itama*. Awareness of morphological characteristics as phenotypic traits of *H. itama* requires internalised by coffee farmers. ChatGPT is often relied upon to understand new information, despite its potential bias. This study was conducted with the aim of evaluating the results of visualisation by ChatGPT of *H. itama* phenotypic traits. The visualisation was performed by giving specific prompts to ChatGPT for three morphological characters. The visualisation results displayed were then evaluated based on reference literature from two scientific articles on the morphological characteristics of *H. itama* in Indonesia. The comparison between the ChatGPT visualisation and the reference database showed that ChatGPT was able to visualise general features well, but for specific and detailed features, the ChatGPT visualisation results were less accurate. Based on these results, it is necessary to double-check when farmers utilise ChatGPT as a reference in recognising *H. itama*.

Keywords: ChatGPT, *H. Itama*, Coffee

PENDAHULUAN

Indonesia dikenal dengan kualitas kopi arabika dan robusta yang tinggi, yang diapresiasi secara global (Ramadhana *et al.*, 2024). Dalam pasar internasional, Indonesia menempati peringkat keempat sebagai produsen kopi terbesar, dengan keunggulan yang kuat pada kopi jenis tertentu (Ashardiono & Trihartono, 2024). Dalam menjaga pasokan kopi pada pasar global, dilaksanakan berbagai strategi untuk pengembangan perkebunan kopi, termasuk meningkatkan kualitas produk, mengembangkan infrastruktur, dan membina kolaborasi di antara para pemangku kepentingan (Agustinus & Muhammad, 2024). Dengan adanya sistem *agroforestry* yang mumpuni, perkebunan kopi dapat berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim dan meningkatkan pendapatan petani (Kusumaningrum *et al.*, 2024).

Penyerbukan memainkan peran penting dalam meningkatkan produksi, kualitas, dan keberlangsungan perkebunan kopi yang berkelanjutan. Hal ini disebabkan karena peran penyerbukan yang mampu meningkatkan jumlah buah hingga sekitar 9% dan dapat menghasilkan buah yang lebih padat dan bulat (Aristizábal *et al.*, 2023). Petani dapat memperoleh manfaat ekonomi yang signifikan dengan optimalisasi proses penyerbukan pada tanaman kopi (Pereira Machado *et al.*, 2024). Selain dari sisi ekonomi, manfaat penyerbukan juga dapat tampak dari adanya tingkat senyawa bioaktif, seperti kafein dan asam klorogenat, yang lebih tinggi pada biji kopi yang diserbuki dengan sempurna (Canzi *et al.*, 2023). Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa dengan adanya variasi penyerbuk pada kopi dapat berimplikasi pada hasil panen yang lebih tinggi (Klein *et al.*, 2003).

Penyerbukan kopi merupakan proses yang kompleks yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis penyerbuk, kondisi lingkungan, dan praktik pertanian. Sebuah penelitian di Kenya telah mengidentifikasi 63 keluarga lebah sebagai penyerbuk kopi, dengan perkebunan organik menunjukkan keanekaragaman dan kelimpahan lebah yang lebih tinggi dibandingkan dengan perkebunan konvensional (Karanja, 2012). Lebah madu afrika (*Apis mellifera*) adalah spesies yang paling sering mengunjungi bunga kopi, sekitar 73,7% dari total kunjungan, diikuti oleh *Trigona spinipes* dan *Tetragonisca angustula* (Malerbo-Souza *et al.*, 2012). Penelitian lain menyebutkan bahwa *Heterotrigona itama* juga menjadi spesies yang sering mengunjungi perkebunan kopi dan dapat menyebabkan peningkatan ukuran, berat, dan jumlah biji pada tanaman kopi (Azmi, *et al.*, 2023). Kehadiran *H. itama* ini menandakan bahwa kopi mempunyai konsentrasi nektar yang memadai, mengingat preferensi pakan *H. itama* adalah tanaman yang memiliki konsentrasi nektar yang tinggi (Basari *et al.*, 2021).

H. itama menunjukkan sifat fenotipik yang bervariasi karena dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan praktik budidaya lebah tanpa sengat yang makin beragam (Kadarsah *et al.*, 2024).

H. itama dicirikan dengan tubuh berwarna hitam dengan sayap berwarna abu-abu, dan memiliki kaki belakang yang berlekuk-lekuk dengan struktur sensorik (Azmi *et al.*, 2019). Ukuran rata-rata tubuh *H. itama* dilaporkan antara 6,64 mm dan 7,11 mm, tergantung pada habitatnya (Kadarsah *et al.*, 2024). Pengetahuan atas mencirikan sifat fenotipik *H. itama* menjadi penting selaras dengan perannya yang vital pada penyerbukan tanaman kopi.

Pemanfaatan kecerdasan buatan telah merambah di berbagai sektor, yang secara signifikan meningkatkan efisiensi, pengambilan keputusan, dan inovasi, misalnya membantu dalam lingkungan pendidikan dengan mempersonalisasi pengalaman belajar dan memberikan solusi pembelajaran adaptif (Li & Jiang, 2017). Dalam bidang aplikasi biologi, kecerdasan buatan telah digunakan untuk meningkatkan interpretasi gambar medis dalam mendeteksi dini kanker, mempercepat pengembangan obat dengan memprediksi perilaku molekuler dan mengidentifikasi kandidat obat baru, mengurangi waktu dan biaya yang terkait dengan metode tradisional (Saraf & Tripathy, 2024; Anurag *et al.*, 2024; Khade & Mishra, 2024).

ChatGPT merupakan salah satu jenis kecerdasan buatan yang telah digunakan untuk meningkatkan pendidikan biomedis, misalnya dalam menyederhanakan topik-topik yang rumit, sehingga membantu siswa dalam memahami konsep biologi yang rumit secara lebih efektif (Fernández *et al.*, 2024). Dalam biologi komputasi, ChatGPT membantu dalam pengkodean, *debugging*, dan pengembangan algoritma bioinformatika (Rahman & Wong, 2024). Kemampuan ChatGPT meluas hingga menjawab pertanyaan medis, di mana ia memproses kumpulan data yang besar untuk memberikan rekomendasi diagnostik dan pengobatan (Li *et al.*, 2024). Namun, terlepas dari potensinya yang sangat besar, penggunaan ChatGPT masih memiliki tantangan terutama ketidakakuratan, sehingga pengecekan dengan sumber referensi secara manual tetap penting untuk dilakukan (Caspi & Karp, 2024).

Penggunaan ChatGPT dalam mengkarakterisasi sifat fenotipik *H. itama* dapat dilakukan untuk mempermudah pemahaman masyarakat, terutama petani dalam mengenali hewan potensial pollinator yang dapat meningkatkan produksi tanaman kopi pada perkebunannya. Hal ini selaras dengan hasil penelitian Wang *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa ChatGPT dapat digunakan untuk membantu dalam berbagai aktivitas, termasuk dalam kegiatan meringkas hingga membuat legenda pada gambar. Namun, perlu dilakukan pengecekan ulang terkait keakuratan atas visualisasi ChatGPT dalam mengkarakterisasi sifat fenotipik *H. itama*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keakuratan visualisasi ChatGPT dalam mengkarakterisasi sifat fenotipik *H. itama* melalui perbandingan dan pengecekan secara manual dengan pustaka ilmiah yang tersedia.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober s.d. November 2024 dengan menggunakan ChatGPT untuk dapat memberikan visualisasi atas karakter sifat fenotipik *H. Itama*. Perangkat elektronik yang digunakan adalah ASUS Zenbook 14 OLED (UX3402), dengan spesifikasi prosesor intel® Evo™. Sifat fenotipik *H. itama* yang dikarakterisasi melalui karakter morfologi yang meliputi (a) warna tubuh, (b) warna mata, dan (c) venasi sayap depan.

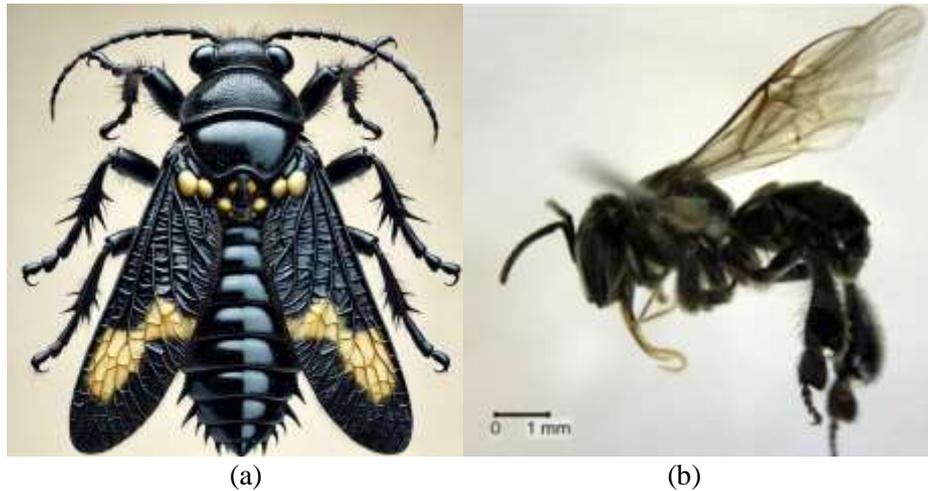
Perintah kepada ChatGPT diberikan menggunakan *prompt* khusus untuk dapat mendeskripsikan karakter morfologi *H. itama* (Tabel 1). Evaluasi manual atas karakter morfologi penciri sifat fenotipik *H. itama* yang dihasilkan oleh ChatGPT dilakukan dengan menggunakan perbandingan karakter morfologi *H. itama* di Provinsi Banga Belitung (Azizi *et al.*, 2020) dan Provinsi Kalimantan Selatan (Purwanto *et al.*, 2022).

Tabel 1. *Prompt* yang diberikan kepada ChatGPT

No.	Kelompok Karakter yang Divisualisasi	<i>Prompt</i> yang Diberikan kepada ChatGPT
1	Warna tubuh	<i>Act as an insect expert (entomologist) who has theoretical and practical experience for 30 years. Illustrate real and scientific morphological characters of Heterotrigona itama in close up on body colour characters.</i>
2	Warna mata	<i>Act as an insect expert (entomologist) who has theoretical and practical experience for 30 years. Illustrate real and scientific morphological characters of Heterotrigona itama in close up on eye colour characters.</i>
3	Venasi sayap depan	<i>Act as an insect expert (entomologist) who has theoretical and practical experience for 30 years. Illustrate real and scientific morphological characters of Heterotrigona itama in close up on character of forewing venation.</i>

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada visualisasi warna tubuh, ChatGPT menampilkan tubuh *H. itama* dengan warna dominan hitam dengan adanya ciri mengkilap (Gambar 1a), sedangkan Azizi *et al.* (2020) menunjukkan bahwa warna tubuh *H. itama* adalah hitam dengan kilap/kilauan minimal, tidak setegas visualisasi dari ChatGPT (Gambar 1b). Ciri warna tubuh yang digambarkan oleh referensi acuan sesuai dengan hasil penelitian Purba *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa jenis *H. itama* memiliki warna tubuh yang hitam gelap. Dalam penggambaran ciri ini, maka ChatGPT memberikan unsur kilauan/kilapan yang berlebihan jika dibandingkan dengan gambar acuan dan referensi ilmiah yang lain.



Gambar 1. Karakter morfologi warna tubuh *H. itama*, (a) hasil visualisasi ChatGPT dan (b) gambar dari pustaka acuan (Azizi *et al.*, 2020)

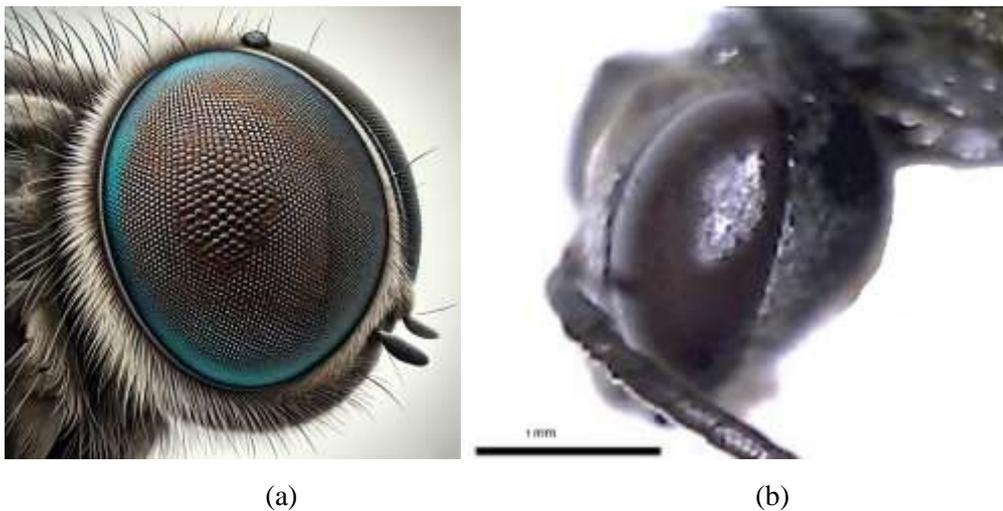
Penggambaran warna tubuh *H. itama* juga menampilkan adanya eksoskeleton yang menjadi ciri khas pada kelompok lebah tanpa sengat. Struktur eksoskeleton menjadi penting karena berperan untuk mendukung pergerakan dan berfungsi sebagai titik perlekatan untuk otot, sehingga memungkinkan pergerakan lebah tanpa sengat (Soares *et al.*, 2013). Struktur eksoskeleton yang kuat juga berperang untuk fungsi pertahanan bagi setiap individu lebah tanpa sengat (Hammel *et al.*, 2016). Pada visualisasi tubuh oleh ChatGPT, nampak struktur eksoskeleton *H. itama* merupakan struktur yang kokoh. Jika dibandingkan dengan gambar referensi acuan, maka nampak bahwa visualisasi atas eksoskeleton yang dimiliki oleh *H. itama* tidak sekokoh sebagaimana ditunjukkan oleh ChatGPT.

Dalam penggambaran warna tubuh, ChatGPT juga memberikan visualisasi adanya struktur *setae* kasar dan tajam pada segmen *abdomen* dan segmen kaki. Struktur *setae* merupakan adalah struktur yang menyerupai rambut yang ditemukan pada tubuh lebah tanpa sengat, terutama pada kaki belakang pekerja dewasa, yang diklasifikasikan sebagai *setae* sejati (Rozen, 2021). Struktur ini berfungsi sebagai organ sensorik, mendeteksi perubahan lingkungan, membantu navigasi, dan dapat berperan untuk menyebarkan feromon, yang sangat penting untuk komunikasi di dalam koloni (Winterton, 2009).

Karakter morfologi kedua untuk mencirikan sifat fenotipe *H. itama* adalah warna mata. Warna mata menjadi salah satu karakter penting dalam studi taksonomi lebah tanpa sengat, hal ini berkaitan dengan kemampuan visual dan interaksi ekologis pada koloni lebah tanpa sengat. Studi menunjukkan bahwa sistem visual pada lebah tanpa sengat berkaitan dengan adaptasi kompleks yang meningkatkan kemampuan lebah tanpa sengat untuk melihat cahaya dan menavigasi lingkungannya (Babu, 2016). Selain itu, variasi morfologi dalam struktur mata dapat terkait

dengan sifat perilaku, dan dapat menunjukkan adanya seleksi alam dalam populasi tersebut (Källberg, 2016).

Visualisasi warna mata *H. itama* oleh ChatGPT menggambarkan adanya mata majemuk yang berwarna coklat tua hingga hitam dengan struktur *ommatidia* yang jelas dan sifat reflektif (Gambar 2a). Segi *ommatidia* dengan diameter yang bervariasi pada mata majemuk lebah tanpa sengat menunjukkan mekanisme persepsi diferensial, mengindikasikan adaptasi sensorik visual yang kompleks yang kemungkinan besar berevolusi untuk mendukung gaya hidupnya (Menzel, 1975). Apabila dibandingkan dengan gambar referensi (Purwanto *et al.*, 2022), *H. itama* memiliki mata berwarna coklat tua yang seragam dengan pantulan halus dan *ommatidia* yang tidak terlalu jelas, konsisten dengan penampilan alami lebah tanpa sengat (Gambar 2b).



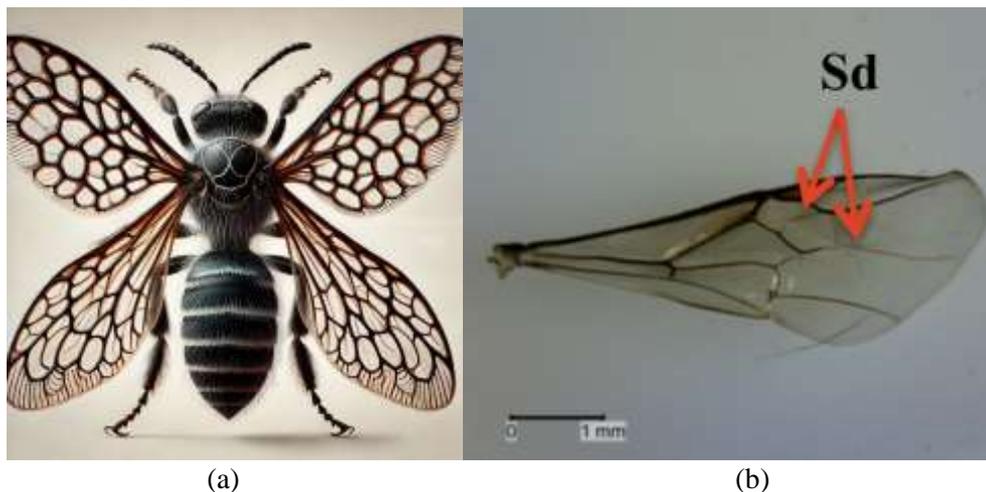
Gambar 2. Karakter morfologi warna mata *H. itama*, (a) hasil visualisasi ChatGPT dan (b) gambar dari pustaka acuan (Purwanto *et al.*, 2022)

Berdasarkan perbandingan gambar yang telah dilakukan, nampak bahwa proses pemvisualisasian gambar oleh ChatGPT terlalu menekankan *ommatidia*, yang sangat dimungkinkan salah menggambarkan visibilitasnya pada pembesaran standar. Meskipun hal ini sesuai dengan karakter mata majemuk yang dimiliki oleh lebah tanpa sengat, namun hal ini dapat menyebabkan ketidakakuratan ketika visualisasi digunakan untuk perbandingan morfologi yang halus pada besaran perbesaran standar.

Karakter morfologis ketiga yang diamati dalam mencari sifat fenotipe *H. itama* adalah sistem venasi pada sayap depan. Venasi sayap merupakan fitur morfologi khas yang bervariasi secara signifikan di antara spesies serangga, sehingga menjadikannya alat yang berharga untuk klasifikasi taksonomi (Shimmi *et al.*, 2014). Pada lebah tanpa sengat, penelitian telah menunjukkan bahwa pola venasi spesifik dapat menggambarkan spesies dan bahkan subspecies

yang berbeda (Francoy *et al.*, 2016).

Hasil visualisasi ChatGPT menunjukkan adanya venasi yang terperinci pada sayap depan. Nampak adanya garis silang yang banyak dengan ruangan yang terbentuk berukuran kecil (Gambar 3a). Pada pustaka acuan (Azizi *et al.*, 2020), digambarkan bahwa venasi pada sayap depan *H. itama* hanya sederhana dengan lebih sedikit garis silang dan ruangan-ruangan besar yang khas dari *H. itama* (Gambar 3b). Lebih lanjut, pustaka acuan juga menunjukkan adanya kelengkungan dan persimpangan vena kecil yang tidak nampak dalam visualisasi ChatGPT. Berdasarkan hasil tersebut, visualisasi yang dihasilkan menampilkan adanya pola venasi secara umum, namun detail yang lebih halus seperti kelengkungan garis venasi dan titik persimpangan tidak ditampilkan dengan akurat.



Gambar 3. Karakter morfologi venasi pada sayap depan *H. itama*, (a) hasil visualisasi ChatGPT dan (b) gambar dari pustaka acuan (Azizi *et al.*, 2020)

Data karakter morfologi, khususnya venasi sayap dapat berkaitan dengan perencanaan konservasi dengan mengidentifikasi spesies yang berisiko punah karena hilangnya habitat atau perubahan lingkungan. Oleh karena itu, pemahaman akan pola venasi sayap dapat berkontribusi pada penilaian keanekaragaman hayati dan strategi konservasi, terutama untuk populasi lebah tanpa sengat yang beragam di wilayah tropis (Francoy *et al.*, 2016).

Hasil analisis perbandingan antara hasil visualisasi yang diberikan oleh ChatGPT atas tiga karakter morfologi *H. itama* dengan referensi acuan dari literatur ilmiah (Azizi *et al.*, 2020 dan Purwanto *et al.*, 2022) menunjukkan terdapat beberapa rincian sifat fenotipe yang berbeda. Pada penggambaran ketiga karakter *H. itama* oleh ChatGPT, didapatkan informasi yang akurat secara umum, namun terdapat beberapa rincian informasi yang spesifik tidak mampu digambarkan secara tepat oleh ChatGPT. Dalam karakter detail tertentu, ChatGPT memvisualisasikan gambaran

dengan penekanan yang berlebihan (misalnya, *ommatidia*) yang dapat menimbulkan ketidakkonsistenan dengan pengamatan di dunia nyata.

Kekurangan lain dari gambar yang disajikan oleh ChatGPT untuk ketiga karakter morfologi *H. itama* adalah ketiadaan ukuran/skala pada gambar. Keberadaan ukuran gambar dalam publikasi ilmiah memainkan peran penting dalam meningkatkan pemahaman dan aksesibilitas. Adanya ukuran pada gambar akan memberikan dampak untuk dapat ditafsirkan oleh pembaca yang luas dengan benar, termasuk mereka yang memiliki keterbatasan penglihatan, seperti buta warna (Jambor *et al.*, 2021). Selain itu, adanya ukuran pada gambar dapat memfasilitasi penyajian yang jelas dari hasil eksperimen, sehingga memandu pembaca melalui data secara efektif (Klaus, 2016).

Ketidakkampuan ChatGPT untuk menghasilkan informasi yang 100% akurat berasal dari beberapa keterbatasan yang melekat dalam desain dan proses operasionalnya. ChatGPT dilatih dengan set data yang sangat besar yang mungkin berisi informasi yang sudah tidak mutakhir atau tidak benar, yang menyebabkan ketidakakuratan dalam tanggapannya, termasuk dalam memvisualisasikan sesuai dengan *prompt* yang diberikan (Elmas *et al.*, 2024). Selain itu, ChatGPT mempunyai ketergantungan model pada teks yang ada, sehingga dapat mengakibatkan ketidaksesuaian hasil di bidang tertentu (Vaishya *et al.*, 2023).

Studi lain menunjukkan bahwa sifat generatif ChatGPT dapat menghasilkan informasi yang sekilas logis, namun secara faktual tidak benar (Oertner, 2024). Huang *et al.* (2023) menyebutkan juga bahwa ChatGPT telah terbukti memberikan jawaban yang tidak lengkap untuk pertanyaan ilmiah, yang menunjukkan kurangnya kedalaman dalam memahami topik yang kompleks. Salah satu kelemahan lain dari ChatGPT adalah tidak menyertakan mekanisme untuk pembaruan atau koreksi waktu nyata berdasarkan umpan balik pengguna, yang dapat meningkatkan keakuratannya dari waktu ke waktu (Vaishya *et al.*, 2023).

Berdasarkan informasi di atas, dapat dipahami bahwa meskipun ChatGPT dapat menunjukkan karakter umum secara tepat, namun terdapat karakter-karakter yang lebih rinci yang gagal disajikan dengan tepat oleh ChatGPT. Oleh karena itu, sebagai pengguna ChatGPT perlu kehati-hatian dalam menerima hasil yang diberikan oleh ChatGPT. Diperlukan adanya mekanisme pengecekan ulang dengan sumber lain yang lebih valid dan terpercaya sehingga dapat memberikan informasi dengan akurasi yang tinggi.

SIMPULAN

ChatGPT dapat menggambarkan secara akurat pada karakter morfologi secara umum, namun memiliki akurasi yang rendah dalam menggambarkan detail karakter *H. itama*. Oleh karena itu, ChatGPT tidak disarankan menjadi acuan tunggal dalam mengenal karakter *H. itama* yang mempunyai potensi sebagai agen politanor kopi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustinus, A., & Muhammad, H. (2024). Strategy For The Development of Community Coffee Plantations in Banjar Regency of South Kalimantan Province, Indonesia. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 145(1), 77-85.
- Anurag, Y. S., Sharma, A., Kumar, D., Pandey, S., Maurya, N., & Gupta, A. Artificial Intelligence in Biology.
- Aristizábal, N., Mora-Mena, S. E., Martínez-Salinas, A., Chain-Guadarrama, A., Castillo, D., Murillo, J. B., & Ricketts, T. H. (2025). Bee pollination affects coffee quality, yield, and trade-offs within them. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 377, 109258.
- Ashardiono, F., & Trihartono, A. (2024). Optimizing the potential of Indonesian coffee: a dual market approach. *Cogent Social Sciences*, 10(1), 2340206.
- Azizi, M. G., Priawandiputra, W., & Raffiudin, R. (2020). Morphological identification of stingless bees from Belitung. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 457, No. 1, p. 012011). IOP Publishing.
- Azmi, W. A., Ghazi, R., & Nasharuddin, I. S. (2019). Morphological, nest architecture and colony characteristics of stingless bees (Hymenoptera; Apidae; Meliponini) from Tasik Kenyir, Terengganu. *Greater Kenyir Landscapes: Social Development and Environmental Sustainability: From Ridge to Reef*, 111-121.
- Azmi, W. A., Sembok, W. Z. W., & Hatta, M. F. M. (2023). A Review on the Pollination Services by Stingless Bees, *Heterotrigona itama* (Hymenoptera; Apidae; Meliponini), on Some Important Crops in Malaysia. *Recent Advances in Global Meliponiculture*, 41-52.
- Babu, A. M. J. Ultrastucture of the Eyes of the stingless bees *Trigona iridipennis*.
- Basari, N., Ramli, S. N., Abdul-Mutalid, N. A., Shaipulah, N. F. M., & Hashim, N. A. (2021). Flowers morphology and nectar concentration determine the preferred food source of stingless bee, *Heterotrigona itama*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 24(2), 232-236.
- Canzi, F. A., Meireles, D. A. L., Valdez, A. S. B., Abrantes, L. S., Boroski, M., Augusto, S. C., ... & Toci, A. T. (2023). Effect of pollination on the composition of raw arabica coffee (*Coffea arabica* L.): antioxidant capacity, bioactive compounds, and volatiles precursors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(11), 5578-5587.
- Caspi, R., & Karp, P. D. (2024). An Evaluation of ChatGPT and Bard in the Context of Biological Knowledge Retrieval.

- Elmas, R., Adiguzel-Ulutas, M., & Yilmaz, M. (2024). Examining ChatGPT's validity as a source for scientific inquiry and its misconceptions regarding cell energy metabolism. *Education and Information Technologies*, 1-30.
- Fernández, J. M. B., del Rocío González-Soltero, M., Fernández, C. J. B., del Pozo, R. B. M., & Rodríguez-Learte, A. I. (2024). Empleo de ChatGPT en educación biomédica. Análisis de riesgos desde los principios éticos de la UNESCO y el Reglamento de la Unión Europea sobre Inteligencia Artificial. *Revista Iberoamericana de Bioética*, (25), 01-15.
- Francoy, T. M., Bonatti, V., Viraktamath, S., & Rajankar, B. R. (2016). Wing morphometrics indicates the existence of two distinct phenotypic clusters within population of *Tetragonula iridipennis* (Apidae: Meliponini) from India. *Insectes Sociaux*, 63, 109-115.
- Huang, C., Hong, D., Chen, L., & Chen, X. (2023). Assess the precision of ChatGPT's responses regarding systemic lupus erythematosus (SLE) inquiries. *Skin Research and Technology*, 29(10).
- Jambor, H., Antonietti, A., Alicea, B., Audisio, T. L., Auer, S., Bhardwaj, V., ... & Weissgerber, T. L. (2021). Creating clear and informative image-based figures for scientific publications. *PLoS biology*, 19(3), e3001161.
- Kadarsah, A., Putra, A. P., Nurliani, A., Suhartono, E., & Ibrahim, S. (2024). Morphological Characteristics and Nest Structure of Stingless Bee (*Heterotrigona itama*) from Different Meliponiculture Practices. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 15(1).
- Källberg, J. (2016). A comparison of the eye anatomy of tropical stingless bees.
- Karanja, R. H. N. (2012). Pollination of *Coffea arabica* L. and associated awareness of pollination significance among farmers in selected farms in Kiambu District, Kenya. *Abstracts of postgraduate thesis*.
- Khade, S. M., & Mishra, R. G. (Eds.). (2024). *Future of AI in Biomedicine and Biotechnology*. IGI Global.
- Klaus, B. (2016). Statistical relevance—relevant statistics, part II: presenting experimental data. *The EMBO Journal*, 35(16), 1726-1729.
- Klein, A. M., Steffan-Dewenter, I., & Tschardt, T. (2003). Pollination of *Coffea canephora* in relation to local and regional agroforestry management. *Journal of Applied Ecology*, 40(5), 837-845.
- Kusumaningrum, D. A., Risyad, A., Siagian, J. A., Melinda, K., & Tisyadana, M. (2024). The potency of coffee plants in agroforestry system in Baringin Village, Agam Regency, West Sumatra to support social forestry program and its contribution to mitigate climate change. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1315, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
- Li, X., & Jiang, H. (2017). Artificial intelligence technology and engineering applications. *The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES)*, 381-388.
- Li, Q., Li, L., & Li, Y. (2024). Developing ChatGPT for biology and medicine: a complete review of biomedical question answering. *arXiv preprint arXiv:2401.07510*.

- Malerbo-Souza, D. T., & Halak, A. L. (2012). Agentes polinizadores e produção de grãos em cultura de café arábica cv. "Catuaí Vermelho". *Científica*, 40(1), 01-11.
- Menzel, R. (1975). Electrophysiological evidence for different colour receptors in one ommatidium of the bee eye. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 30(9-10), 692-694.
- Rozen Jr, J. G. (2021). Integumental microstructures of stingless bees (Apoidea: Apidae: Meliponini). *Entomologica Americana*, 127(1), 1-4.
- Oertner, M. (2024). ChatGPT als Recherchetool? Fehlertypologie, technische Ursachenanalyse und hochschuldidaktische Implikationen. *Bibliotheksdienst*, 58(5), 259-297.
- Pereira Machado, A. C., Baronio, G. J., Soares Novaes, C., Ollerton, J., Wolowski Torres, M., Natalina Silva Lopes, D., & Rech, A. R. (2024). Optimizing coffee production: Increased floral visitation and bean quality at plantation edges with wild pollinators and natural vegetation. *Journal of Applied Ecology*, 61(3), 465-475.
- Purba, M. S., Lamerkabel, J. S., & Patty, J. A. (2023). Karakter morfologi dan morfometrik lebah sosial (Aphidae) di Pertanian Organik Beema Honey Bogor. *Jurnal Pertanian Kepulauan*, 7(2), 97-103.
- Purwanto, H., Soesilohadi, R. H., & Trianto, M. (2022). Stingless bees from meliponiculture in South Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(3).
- Rahman, C. R., & Wong, L. (2024). How much can ChatGPT really help computational biologists in programming?. *Journal of Bioinformatics and Computational Biology*, 22(02), 2471001.
- Ramadhana, A. W. S., Aulia, A. D., & Ulum, T. (2024). Keunggulan Komparatif Ekspor Kopi di Indonesia. *Journal of Economics, Business, Accounting and Management*, 2(1), 110-123.
- Sakagami, S. F., Ōgushi, R., & Roubik, D. W. (Eds.). (1990). *Natural history of social wasps and bees in equatorial Sumatra* (pp. 132-137). Sapporo: Hokkaido University Press.
- Saraf, S., De, A., & Tripathy, B. K. (2024). Effective Use of Computational Biology and Artificial Intelligence in the Domain of Medical Oncology. In *Computational Intelligence for Oncology and Neurological Disorders* (pp. 228-252). CRC Press.
- Shimmi, O., Matsuda, S., & Hatakeyama, M. (2014). Insights into the molecular mechanisms underlying diversified wing venation among insects. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1789), 20140264.
- Soares, M. P. M., Barchuk, A. R., Simões, A. C. Q., dos Santos Cristino, A., de Paula Freitas, F. C., Canhos, L. L., & Bitondi, M. M. G. (2013). Genes involved in thoracic exoskeleton formation during the pupal-to-adult molt in a social insect model, *Apis mellifera*. *BMC genomics*, 14, 1-17.
- Vaishya, R., Kambhampati, S. B., Iyengar, K. P., & Vaish, A. (2023). ChatGPT in the current form is not ready for unaudited use in healthcare and scientific research. *Cancer Research, Statistics, and Treatment*, 6(2), 336-337.
- Wang, J., Ye, Q., Liu, L., Guo, N. L., & Hu, G. (2023). Bioinformatics illustrations decoded by chatgpt: The good, the bad, and the ugly. *bioRxiv*.

Winterton, S. L. (2009). Scales and setae. In *Encyclopedia of insects* (pp. 901-904). Academic Press.