



Original Article

Toksisitas dan dampak empat insektisida sintetik terhadap sintasan dan perilaku makan lebah tanpa sengat *Tetragonula laeviceps* Smith (Hymenoptera: Apidae: Meliponinae)

Toxicity and impact of four synthetic insecticides on survival and feeding behavior of stingless bees *Tetragonula laeviceps* Smith (Hymenoptera: Apidae: Meliponinae)

Bela Hasna Audia¹, Damayanti Buchori^{1*}, Dadang¹, Rika Raffiudin²

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

²Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University, Jalan Agatis, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

Penulis korespondensi:

Damayanti Buchori
(damayanti@apps.ipb.ac.id)

Diterima: Maret 2025

Disetujui: September 2025

Sitasi:

Audia BH, Buchori D, Dadang, Raffiudin R. 2025. Toksisitas dan dampak empat insektisida sintetik terhadap sintasan dan perilaku makan lebah tanpa sengat *Tetragonula laeviceps* Smith (Hymenoptera: Apidae: Meliponinae). *Jurnal Entomologi Indonesia*. 22(3):197–208. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.22.3.197>

ABSTRAK

Tetragonula laeviceps Smith merupakan lebah yang banyak ditemukan dan dibudidayakan di Indonesia. Keberadaan lebah sangat penting dalam memberikan layanan ekologi sebagai penyerbuk tanaman. Namun, akhir-akhir ini populasi lebah di dunia mengalami penurunan dan penggunaan insektisida secara intensif diduga menjadi salah satu penyebabnya. Penelitian ini bertujuan menganalisis tingkat toksisitas insektisida dan efek paparan insektisida terhadap fisiologi lebah *T. laeviceps*. Insektisida berbahan aktif karbosulfan, klotianidin, diafentiuron, dan tetraniliprol diuji toksisitasnya terhadap *T. laeviceps* melalui paparan dermal dan oral pada lima taraf konsentrasi. Pengujian preferensi lebah dilakukan melalui uji olfaktori menggunakan tabung-Y olfaktometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan insektisida memengaruhi durasi kunjungan lebah *T. laeviceps* ($P = 0,006$), tetapi tidak memengaruhi frekuensi kunjungannya ($P = 0,286$). Karbosulfan dan klotianidin bersifat toksik terhadap lebah *T. laeviceps*, baik secara dermal (LC_{50} berturut-turut 31,28 dan 0,09 ppm) maupun oral (LC_{50} berturut-turut 28,51 dan 0,41 ppm). Paparan diafentiuron dan tetraniliprol secara dermal (LC_{50} berturut-turut 7.882 dan 148,81 ppm) lebih berbahaya dibandingkan dengan paparan oral (LC_{50} berturut-turut 53.983 dan 5.240 ppm). Tingkat toksisitas insektisida karbosulfan dan klotianidin tergolong ke dalam insektisida yang sangat toksik dan berbahaya, sedangkan diafentiuron dan tetraniliprol tergolong ke dalam insektisida yang tidak berbahaya bagi lebah *T. laeviceps*. Selain itu, kemampuan lebah untuk mengonsumsi pakan juga menurun secara signifikan akibat adanya paparan insektisida karbosulfan (10.000 dan 3.000 ppm) dan klotianidin (300; 30; 3; 0,3; dan 0,03 ppm). Informasi tingkat toksisitas dan pengaruh berbagai bahan aktif insektisida pada lebah dapat dimanfaatkan sebagai upaya penggunaan insektisida yang lebih peduli terhadap keberlangsungan hidup lebah di sekitar area pertanian.

Kata kunci: kemampuan makan, olfaktori, paparan dermal, paparan oral, penyerbuk

ABSTRACT

Tetragonula laeviceps Smith are widely found and cultivated in Indonesia. They play a crucial role in providing ecological services as pollinators of plants. However, there has been a global concern of bees' population decline, which may be attributed to the intensive use of insecticides. This study aimed to analyze the toxicity level of several insecticide active ingredients and the effects of insecticide exposure on the physiology of *T. laeviceps*. Four insecticides active ingredients, carbosulfan, clothianidin, diafenthiuron, and tetraniliprole were tested for toxicity against *T. laeviceps* through dermal and oral exposures at five concentration levels. Bee preference testing was conducted through olfactory tests using a Y-tube olfactometer. Results showed that insecticide exposure affected the visitation length of *T. laeviceps* ($P = 0.006$), but not its visitation frequency ($P = 0.286$). Carbosulfan and clothianidin were toxic to *T. laeviceps*, both dermally (LC_{50} 31.28 and 0.09 ppm, respectively) and orally (LC_{50} 28.51 and 0.41 ppm, respectively). Meanwhile, diafenthiuron and tetraniliprole were more harmful to bees during dermal exposure (LC_{50} 7,882 and 148,81 ppm) compared to oral exposure (LC_{50} 53,983 and 5,240 ppm). The toxicity level of insecticides carbosulfan and clothianidin is categorized as highly toxic and dangerous, while diafenthiuron and tetraniliprole are categorized as non-toxic and non-dangerous for *T. laeviceps*. In addition, the ability of bees to consume food also decreased significantly due to the presence of insecticides carbosulfan (10,000 and 3,000 ppm) and clothianidin (300; 30; 3; 0.3; and 0.03 ppm). Information on the toxicity level and the influence of various active ingredients of insecticides on bees can be utilized as an effort to use insecticides that are more caring towards the sustainability of bees around agricultural areas.

148.81 ppm, respectively) compared to oral exposure (LC₅₀ 53,983 and 5,240 ppm, respectively). The toxicity levels of the insecticides carbosulfan and clothianidin are classified as highly toxic and harmful, while diafenthiuron and tetraniliprole are not harmful to *T. laeviceps* bees. In addition, the capability of bees to consume feed was also significantly decreased due to exposure to carbosulfan (10,000 and 3,000 ppm) and clothianidin (300; 30; 3; 0,3; and 0,03 ppm) insecticides. Information of the toxicity levels and effects of various insecticides on bees may contribute to the development of insecticide management to keep the survival of bees in agricultural areas.

Key words: dermal exposure, feeding capability, pollinator, olfactory, oral exposure

PENDAHULUAN

Lebah (Hymenoptera: Apidae: Meliponinae) merupakan kelompok serangga penyerbuk yang paling penting. Ada hampir 20.000 spesies lebah di seluruh dunia yang berperan sebagai penyerbuk bagi tanaman (*anthophilous*) (Gullan & Cranston 2014). Di Indonesia, lebah *Tetragonula laeviceps* Smith (Meliponini) dari kelompok lebah tanpa sengat merupakan lebah yang paling banyak ditemukan dan dibudidayakan (Buchori et al. 2022).

Lebah *T. laeviceps* merupakan jenis lebah generalis yang mampu memanfaatkan berbagai jenis tumbuhan sebagai sumber nektar dan serbuk sari. Ukuran tubuh yang kecil menjadi keuntungan bagi lebah ini karena dapat masuk pada berbagai ukuran dan bentuk bunga sehingga dapat mengumpulkan serbuk sari dari berbagai jenis tanaman secara intensif (Masrianih et al. 2022). Penyerbukan dengan bantuan lebah terbukti dapat meningkatkan produksi tanaman, baik secara kuantitas maupun kualitas.

Penyerbukan dengan bantuan lebah *T. laeviceps* pada tanaman tomat dan cabai dapat meningkatkan hasil buah dan jumlah biji sebesar 2–3 kali lipat dari penyerbukan angin dan 4–5 kali lipat dari penyerbukan sendiri (Mubin et al. 2022). Tanaman cabai menunjukkan peningkatan pembentukan buah (*fruit set*) sebesar 25,99% karena adanya penyerbukan oleh lebah *T. laeviceps* (Putra & Badal 2018). Lebah *T. laeviceps* juga terbukti membantu penyerbukan tanaman stroberi dengan meningkatkan pembentukan buah sebesar 78,9%, menurunkan buah abnormal sebesar 16,7%, serta meningkatkan ukuran dan berat buah stroberi masing-masing 3,5% dan 5,4% (Atmowidi et al. 2022). Selain itu, beberapa tanaman lain yang mengalami peningkatan kuantitas dan kualitas hasil akibat penyerbukan lebah *T. laeviceps* ialah labu siam (A'yunin et al. 2019), kacang panjang dan ranti (Rahmani et al. 2020), mentimun (Zidni et al. 2021), serta mangga (Chuttong et al. 2022).

Layanan ekosistem lebah sebagai penyerbuk tanaman menjadi sangat penting, terutama bagi tanaman budi daya. Namun demikian, beberapa penelitian menunjukkan bahwa koloni lebah telah

mengalami penurunan dalam dekade ini, seperti di Amerika Serikat yang mengalami kehilangan koloni lebah *Apis mellifera* Linnaeus tahunan berkisar 40,4–44,0% pada tahun 2018–2020 (Bruckner et al. 2023). Bahkan, kehilangan koloni lebah *A. mellifera* di Amerika Serikat mencapai 50,8% pada tahun 2020–2021 (Aurell et al. 2023). Di wilayah Asia juga dilaporkan terjadi penurunan populasi lebah (Theisen-Jones & Bienefeld 2016). Kehilangan koloni lebah *A. mellifera* di Cina sebesar 8,7% pada tahun 2013–2017 dengan kehilangan koloni tertinggi pada tahun 2014–2015 sebesar 10,5% (Tang et al. 2020).

Terjadinya penurunan koloni lebah dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti perubahan iklim, fragmentasi habitat, malnutrisi lebah, adanya musuh alami lebah (predator, parasitoid, dan patogen), serta paparan insektisida (Vanbergen et al. 2013; Insolia et al. 2022). Beberapa insektisida yang telah dilaporkan berdampak negatif pada lebah di antaranya ialah insektisida golongan organofosfat, karbamat, piretroid, dan neonicotinoid (Bekić et al. 2014). Bahkan, penggunaan insektisida neonicotinoid secara intensif diduga menjadi penyebab terjadinya fenomena hilangnya koloni lebah *A. mellifera* secara massal (*colony collapse disorder*/CCD) di Amerika Serikat dan Eropa (Bekić et al. 2014). Naggar et al. (2022) juga menemukan terjadinya penurunan sintasan dan konsumsi pakan lebah *Nannotrigona perilampoides* (Cresson) akibat paparan insektisida neonicotinoid. Sementara itu, pengujian laboratorium dari insektisida diafenthiuron menunjukkan dampak terhadap lebah *A. dorsata* Fabricius, *A. cerana indica* Fabricius, *A. florea* Fabricius, dan *Trigona iridipennis* Smith (Stanley et al. 2009). Sebagian besar insektisida yang digunakan dalam perlindungan tanaman dilaporkan berbahaya bagi lebah sehingga insektisida karbosulfan, klotianidin, diafenthiuron, dan tetraniliprol juga diuji untuk mengetahui tingkat toksisitasnya terhadap lebah *T. laeviceps* di Indonesia.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis tingkat toksisitas dan efek paparan insektisida terhadap aspek fisiologis lebah *T. laeviceps*. Penelitian ini penting dilakukan karena

dapat memberikan informasi mengenai dampak dan tingkat keamanan penggunaan insektisida yang dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam aplikasi insektisida pada praktik budi daya tanaman.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fisiologi dan Toksikologi Serangga, Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University pada bulan Mei hingga Agustus 2024.

Pemeliharaan lebah *T. laeviceps*

Lebah *T. laeviceps* yang digunakan sebagai serangga uji berasal dari peternakan lebah di Kabupaten Banten. Lebah *T. laeviceps* dari peternakan kemudian dipelihara di area terbuka berpeneduh dalam sarang berupa kotak kayu (15 cm × 30 cm × 16 cm) di sekitar Departemen Proteksi Tanaman, IPB University.

Penyiapan insektisida uji

Pengujian dilakukan menggunakan empat formulasi insektisida dengan bahan aktif yang berbeda. Setiap insektisida uji berasal dari golongan dan cara kerja yang berbeda berdasarkan *Insecticide Resistance Action Committee* (IRAC) (Tabel 1).

Pengujian olfaktori lebah terhadap paparan insektisida

Pengujian respons olfaktori lebah *T. laeviceps* terhadap aroma insektisida dilakukan dengan menggunakan olfaktometer tabung-Y yang mengacu pada Li et al. (2014). Pengujian olfaktori ini terdiri atas tiga percobaan, yaitu 1) insektisida -vs- sukrosa, 2) insektisida + sukrosa -vs- sukrosa, dan 3) insektisida -vs- insektisida yang lain (Tabel 2). Sukrosa 50% (w/v) digunakan untuk perlakuan. Sementara itu, serangga uji *T. laeviceps* dipuaskan terlebih dahulu selama 1 jam sebelum pengujian respons olfaktori dilakukan. Setiap

Tabel 1. Insektisida yang digunakan dalam pengujian

Table 1. The insecticides used in the testing

Bahan aktif (Active ingredients)	Golongan (Group)	Formulasi (Formulation)	Klasifikasi IRAC* (IRAC* classification)	Konsentrasi anjuran (ppm b.a) (Recommended concentration (ppm a.i))
Karbosulfan (Carbosulfan) 200 g/l	Karbamat (Carbamate)	EC (Emulsifiable Concentrate)	1A	300
Klotianidin (Clothianidin) 600 g/l	Neonikotinoid (Neonicotinoid)	SC (Suspension Concentrate)	4A	300
Diafentiuron (Diafenthion) 500 g/l	Diafentiuron (Diafenthion)	SC (Suspension Concentrate)	12	1000
Tetraniliprol (Tetraniliprole) 200 g/l	Diamida (Diamide)	SC (Suspension Concentrate)	28	100

*IRAC (2024).

Tabel 2. Perlakuan perbandingan dua sumber aroma pada pengujian olfaktori

Table 2. Comparison treatment of two aroma sources in olfactory testing

Pengujian respons olfaktori (Olfactory response testing)	Perlakuan perbandingan aroma (Comparison treatment of aromas)
1) Insektisida -vs- sukrosa (Insecticide -vs- sucrose)	KBS -vs- sukrosa (sucrose) KTN -vs- sukrosa (sucrose) DFT -vs- sukrosa (sucrose) TNP -vs- sukrosa (sucrose)
2) Insektisida + sukrosa -vs- sukrosa (Insecticide+sucrose -vs- sucrose)	KBS + sukrosa (KBS+sucrose) -vs- sukrosa (sucrose) KTN + sukrosa (KTN+sucrose) -vs- sukrosa (sucrose) DFT + sukrosa (DFT+sucrose) -vs- sukrosa (sucrose) TNP + sukrosa (TNP+sucrose) -vs- sukrosa (sucrose)
3) Insektisida -vs- insektisida (Insecticide -vs- insecticide)	KBS -vs- KTN KBS -vs- DFT KBS -vs- TNP KTN -vs- DFT KTN -vs- TNP DFT -vs- TNP

KBS: karbosulfan 300 ppm; KTN: klotianidin 300 ppm; DFT: diafentiuron 1000 ppm; TNP: tetraniliprol 100 ppm; dan Sukrosa: larutan sukrosa 50%. (KBS: carbosulfan 300 ppm; KTN: clothianidin 300 ppm; DFT: diafenthion 1000 ppm; TNP: tetraniliprole 100 ppm; Sucrose: aqueous sucrose 50%).

perlakuan perbandingan aroma dilakukan dengan menggunakan 15 lebah sebagai sampel uji.

Sebagai sumber aroma, sebanyak 200 µl sediaan uji diteteskan pada busa berukuran 2 cm × 2 cm × 2 cm yang ditempatkan pada tabung kaca yang dihubungkan dengan ujung lengan olfaktometer tabung-Y. Busa yang digunakan untuk pengujian diganti dengan busa yang baru setelah 20 menit, kemudian kembali ditetesi dengan 200 µl sediaan uji untuk menghindari adanya pengaruh penguapan. Tabung kaca yang telah berisikan busa perlakuan ditutup dengan kain kasa kemudian ujung cabang olfaktometer tabung-Y dihubungkan dengan selang ke pompa olfaktometer (Dyna-Pump Model 3). Di antara olfaktometer dan pompa dipasang *flowmeter* (Gilmont GF-6541-1215) untuk mengatur laju aliran udara. Setelah semua bagian olfaktometer terpasang, lebah *T. laeviceps* diletakkan di ujung cabang olfaktometer dan *flowmeter* diatur dengan laju udara 40 ml/menit.

Data hasil pengujian mengenai pengaruh preferensi aroma insektisida yang didapatkan pada pengujian olfaktori dianalisis dengan uji *chi-square* menggunakan program R versi 4.4.1 (R Core Team 2024). Hubungan antara insektisida uji dan tingkat preferensi lebah dipetakan dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Office Excel 2021.

Pengujian pengaruh insektisida terhadap sintasan dan kemampuan makan lebah *T. laeviceps*

Pengujian tingkat toksisitas insektisida terhadap sintasan lebah dilakukan secara dermal melalui residu dan oral melalui pakan. Sementara itu, pengujian untuk melihat pengaruh insektisida terhadap kemampuan makan lebah dilakukan secara oral melalui pakan saja.

Pengujian efek residu insektisida

Pengujian paparan dermal residu insektisida dilakukan dengan mengacu pada Syahputra (2001). Pengujian dilakukan dengan menggunakan konsentrasi anjuran insektisida uji yang diencerkan secara berseri dengan pelarut aseton, yaitu pada pengenceran 10^0 , 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , dan 10^{-4} (v/v). Konsentrasi larutan pada pengujian dapat ditingkatkan maupun diturunkan sehingga diperoleh konsentrasi yang dapat menyebabkan kematian 10–95% lebah uji. Sementara itu, perlakuan kontrol hanya terdiri atas pelarut aseton saja.

Sebanyak 500 µl sediaan uji diteteskan menggunakan mikropipet ke dalam tabung reaksi yang berukuran 25 mm × 200 mm. Pelapisan permukaan tabung reaksi dengan sediaan uji dilakukan secara merata. Tabung reaksi yang telah dilapisi dengan sediaan uji kemudian dikeringanginkan hingga

pelarutnya menguap. Lebah *T. laeviceps* sebanyak 10 individu dipaparkan ke dalam tabung reaksi yang telah diberi perlakuan selama 3 jam. Setelah 3 jam, *T. laeviceps* dipindahkan ke dalam tabung pemeliharaan dan diberi pakan larutan sukrosa 50% (w/v). Setiap perlakuan dilakukan dalam 4 ulangan. Mortalitas lebah di setiap tabung pemeliharaan diamati dan dihitung 48 jam setelah perlakuan (JSP).

Pengujian paparan oral insektisida

Pengujian paparan oral insektisida dilakukan menggunakan lima taraf konsentrasi bahan aktif dan satu perlakuan kontrol sama seperti pada pengujian secara dermal. Akan tetapi, pelarut yang digunakan untuk pengujian secara oral ini adalah larutan sukrosa 50% (w/v).

Sebanyak 10 lebah *T. laeviceps* dimasukkan ke dalam tabung pemeliharaan, kemudian lebah diberi pakan 2 ml larutan sukrosa yang mengandung insektisida pada konsentrasi yang diuji atau larutan sukrosa bebas insektisida (kontrol) pada media kapas ± 0,15 g. Pemaparan insektisida terhadap lebah *T. laeviceps* dilakukan selama 3 jam. Setelah 3 jam, pakan *T. laeviceps* yang tersisa ditimbang. Kemudian, pakan lebah *T. laeviceps* diganti dengan larutan sukrosa 50% (w/v) yang bebas dari insektisida. Setiap perlakuan diulang 4 kali (4 tabung pemeliharaan dengan masing-masing 10 lebah). Pengamatan dilakukan 48 JSP dengan mencatat jumlah kematian lebah yang terjadi.

Analisis toksisitas insektisida dan kemampuan makan lebah *T. laeviceps*

Analisis hubungan antara konsentrasi bahan aktif dan tingkat mortalitas lebah dipetakan dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Office Excel 2021. Data mortalitas lebah pada semua konsentrasi masing-masing insektisida yang diuji dari perlakuan residu dan oral diolah dengan analisis probit menggunakan program PoloPlus (LeOra Software) untuk menentukan nilai LC_{15} , LC_{30} , LC_{50} , dan LD_{50} . Nilai LD_{50} yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan standar EPA (2014) (Tabel 3). Selain itu, tingkat toksisitas insektisida juga diukur dengan menggunakan nilai *hazard quotient* (HQ), kemudian dibandingkan dengan klasifikasi menurut Felton et al. (1986) (Tabel 4). Nilai HQ dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Hazard quotient} = \frac{\text{Dosis aplikasi (g b.a/ha)}}{\text{LD}_{50} \text{ lebah (}\mu\text{g b.a/lebah)}}$$

Sementara itu, berat pakan dengan campuran insektisida yang dikonsumsi oleh lebah pada pengujian paparan oral dianalisis dengan analisis sidik ragam

Tabel 3. Klasifikasi toksisitas berdasarkan nilai LD₅₀ (EPA 2014)**Table 3.** Toxicity classification based on LD₅₀ value (EPA 2014)

LD ₅₀ (µg/lebah) (µg/bee)	Klasifikasi toksisitas (Toxicity classification)
< 2	Tinggi (<i>Highly toxic</i>)
2–11	Moderat (<i>Moderately toxic</i>)
≥ 11	Tidak beracun (<i>Non-toxic</i>)

Tabel 4. Klasifikasi toksisitas berdasarkan nilai HQ (Felton et al. 1986)**Table 4.** Toxicity classification based on HQ (Felton et al. 1986)

Hazard Quotient	Klasifikasi toksisitas (Toxicity classification)
<50	Tidak berbahaya (<i>Non-dangerous</i>)
50–2500	Cukup berbahaya hingga moderat (<i>Moderately hazardous to moderately toxic</i>)
>2500	Berbahaya (<i>Dangerous</i>)

dan dilanjutkan dengan uji Tukey pada taraf 5% menggunakan program R versi 4.4.1 (R Core Team 2024).

HASIL

Preferensi lebah *T. laeviceps* terhadap aroma insektisida

Pengujian olfaktori lebah secara umum menunjukkan bahwa lebah *T. laeviceps* memiliki preferensi yang lebih tinggi terhadap sukrosa dibandingkan dengan insektisida maupun campuran insektisida dengan sukrosa. Durasi kunjungan lebah terhadap sukrosa umumnya lebih lama dibandingkan dengan kunjungan lebah terhadap insektisida (Gambar 1A). Meskipun demikian, paparan insektisida dalam uji olfaktori tidak memengaruhi frekuensi kunjungan lebah, baik antara insektisida yang berbeda maupun antara insektisida dan sukrosa. Lebah *T. laeviceps* tetap mengunjungi perlakuan insektisida dengan frekuensi yang tidak berbeda signifikan dibandingkan dengan frekuensi kunjungan lebah terhadap sukrosa (Gambar 1B). Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun lebah terpapar insektisida, lebah tetap mengunjungi tanaman atau bunga yang terkontaminasi insektisida sebagai sumber makanannya sehingga meningkatkan risiko paparan insektisida, baik melalui dermal maupun oral. Selain itu, analisis preferensi lebah terhadap keempat insektisida yang diuji (P3) tidak menunjukkan adanya kecenderungan lebah lebih menyukai salah satu insektisida. Durasi dan frekuensi kunjungan

lebah terhadap insektisida karbosulfan, klotianidin, diafentiuron, dan tetraniliprol tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Pengaruh insektisida terhadap lebah *T. laeviceps*

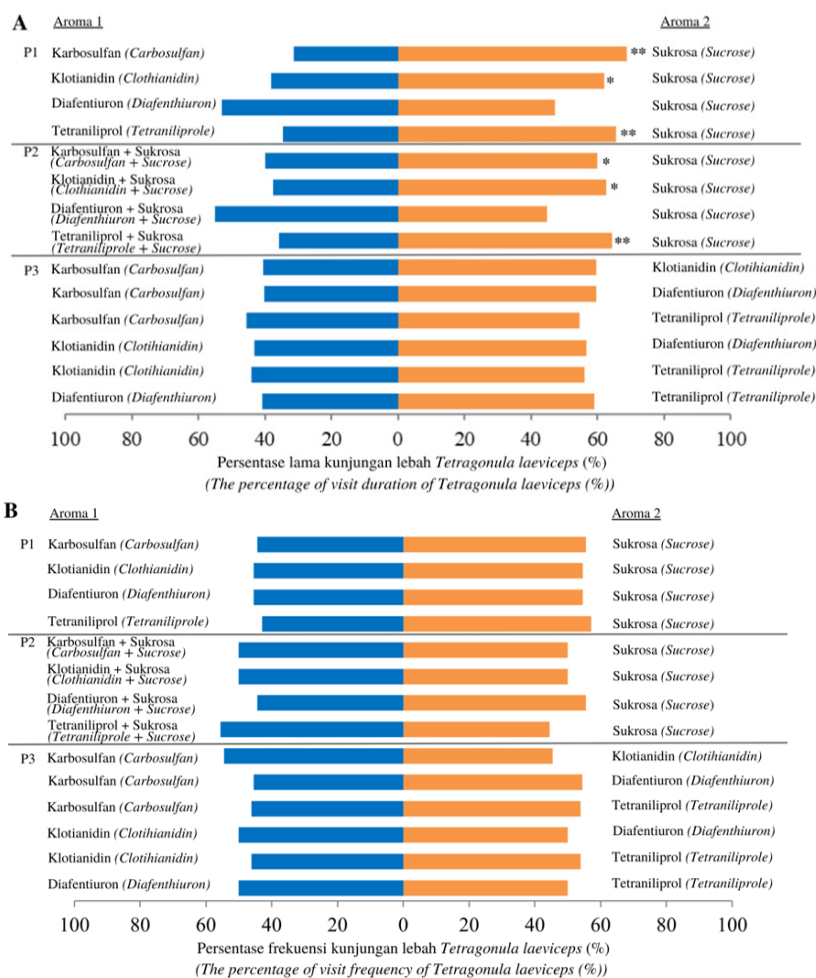
Aplikasi insektisida klotianidin pada konsentrasi yang lebih rendah daripada insektisida karbosulfan, diafentiuron, dan tetraniliprol sudah dapat menyebabkan kematian pada lebah sebesar 100% (Gambar 2). Insektisida klotianidin dapat menyebabkan 100% mortalitas lebah *T. laeviceps* pada konsentrasi 300 ppm pada pengujian residu (Gambar 2A) dan 3 ppm pada pengujian paparan oral (Gambar 2B) sehingga insektisida klotianidin tergolong sangat toksik terhadap lebah *T. laeviceps*.

Pengujian mortalitas lebah dengan bahan aktif karbosulfan juga menyebabkan tingkat kematian yang tinggi pada lebah. Karbosulfan menyebabkan 100% mortalitas lebah *T. laeviceps* pada konsentrasi 3000 ppm, baik itu pada pengujian residu maupun paparan oral (Gambar 2A dan 2B). Sementara itu, diafentiuron dan tetraniliprol membutuhkan konsentrasi yang sangat tinggi untuk menyebabkan kematian pada lebah *T. laeviceps*. Bahkan, pada pengujian paparan oral meskipun konsentrasi yang digunakan sudah sangat tinggi, tetapi belum menyebabkan 100% kematian lebah *T. laeviceps* (Gambar 2B).

Selain menyebabkan mortalitas pada lebah, dampak paparan insektisida uji menyebabkan penurunan kemampuan mengonsumsi pakan pada lebah *T. laeviceps*. Konsentrasi insektisida karbosulfan dan klotianidin yang semakin meningkat secara signifikan menyebabkan penurunan daya jumlah konsumsi lebah. Daya konsumsi lebah terhadap pakan menurun akibat adanya paparan insektisida karbosulfan (10.000 dan 3.000 ppm) dan klotianidin (300; 30; 3; 0,3; dan 0,03 ppm) (Tabel 5). Akan tetapi, pada pemaparan insektisida diafentiuron dan tetraniliprol tidak menunjukkan penurunan kemampuan makan lebah *T. laeviceps* yang signifikan. Peningkatan konsentrasi diafentiuron dan tetraniliprol tidak menyebabkan berkurangnya jumlah pakan yang dikonsumsi lebah secara signifikan (Tabel 5).

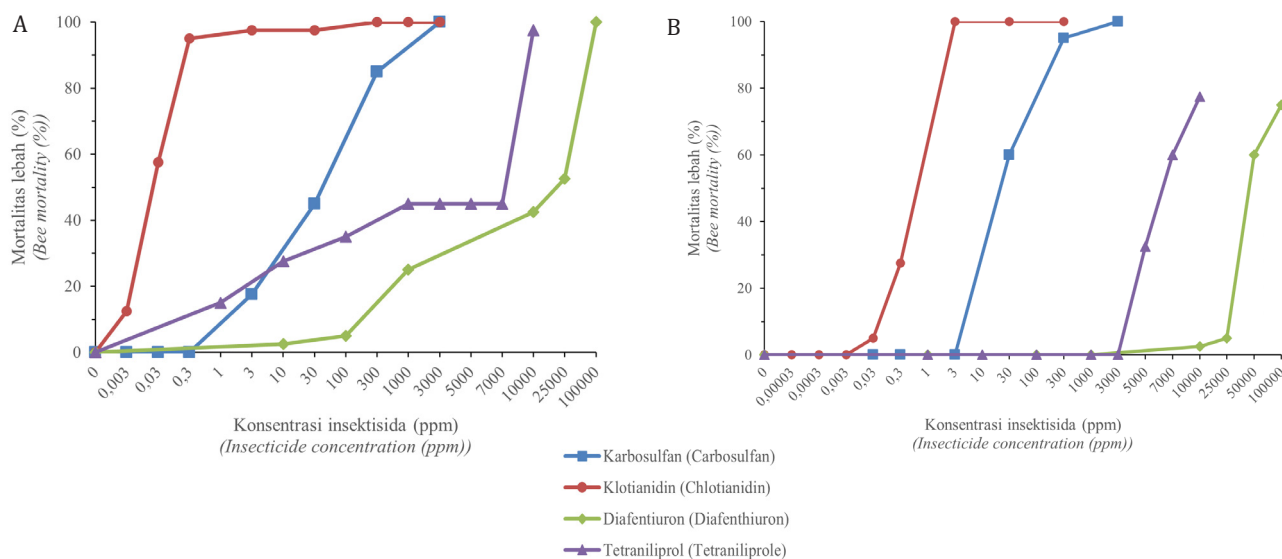
Toksitas insektisida terhadap lebah *T. laeviceps*

Klotianidin bersifat lebih toksik terhadap lebah dibandingkan dengan karbosulfan, diafentiuron, dan tetraniliprol (Tabel 6). Nilai LC₅₀ klotianidin pada pengujian residu insektisida menunjukkan nilai yang jauh lebih rendah (± 3.200 kali) dibandingkan dengan konsentrasi anjuran. Sementara itu, LC₅₀ residu karbosulfan pada pengujian residu lebih rendah ± 10 kali lipat dibandingkan dengan konsentrasi anjuran (Tabel 6).



Gambar 1. Lama kunjungan (A) dan frekuensi kunjungan (B) lebah *Tetragonula laeviceps* terhadap aroma uji pada pengujian olfaktori menggunakan tabung-Y olfaktometer dengan dua sumber aroma. P1: insektisida -vs- sukrosa; P2: insektisida + sukrosa -vs- sukrosa; P3: insektisida -vs- insektisida. N = 15 untuk setiap perlakuan. **: P-value < 0,01; *: P-value < 0,05.

Figure 1. The duration of visits (A) and visit frequency (B) of *Tetragonula laeviceps* to the test aromas in olfactory testing using a Y-tube olfactometer with two aroma sources. P1: insecticide -vs- sucrose; P2: insecticide + sucrose -vs- sucrose; P3: insecticide -vs- insecticide. N = 15 for each treatment. **: P-value < 0,01; *: P-value < 0,05.



Gambar 2. Tingkat mortalitas lebah *Tetragonula laeviceps* akibat paparan residu (A) dan paparan oral insektisida (B).
Figure 2. The mortality rate of *Tetragonula laeviceps* due to insecticide residues (A) and oral exposure (B).

Tabel 5. Pengaruh insektisida terhadap kemampuan makan lebah *Tetragonula laeviceps*
Table 5. The effect of insecticide on the feeding capability of *Tetragonula laeviceps*

Konsentrasi insektisida (ppm) (Insecticide concentration (ppm))	Jumlah pakan yang dikonsumsi* (The quantity of feed consumed*) ($\bar{x} \pm SD$) (μ l)
Insektisida karbosulfan (<i>Carbosulfan insecticide</i>)	
10.000	0,20 $\pm$ 0,24 a
3.000	0,32 $\pm$ 0,19 a
300	0,42 $\pm$ 0,28 ab
30	0,46 $\pm$ 0,29 ab
3	0,47 $\pm$ 0,44 ab
0,3	0,55 $\pm$ 0,34 ab
0,03	0,51 $\pm$ 0,69 ab
0	1,55 $\pm$ 0,32 b
Insektisida klotianidin (<i>Clothianidin insecticide</i>)	
300	2,78 $\pm$ 1,91 a
30	5,21 $\pm$ 3,46 ab
3	8,25 $\pm$ 0,44 ab
0,3	8,67 $\pm$ 1,98 ab
0,03	8,84 $\pm$ 3,00 ab
0,003	9,32 $\pm$ 1,40 abc
0,0003	0,12 $\pm$ 0,86 abc
0,00003	10,52 $\pm$ 1,94 bc
0	12,54 $\pm$ 2,26 c
Insektisida diafentiuron (<i>Diafenthiuron insecticide</i>)	
100.000	1,34 $\pm$ 0,73 a
50.000	2,10 $\pm$ 2,32 a
25.000	2,51 $\pm$ 1,33 a
10.000	2,55 $\pm$ 2,22 a
1.000	2,25 $\pm$ 1,64 a
100	2,22 $\pm$ 0,39 a
10	2,50 $\pm$ 0,38 a
1	2,84 $\pm$ 1,73 a
0	4,52 $\pm$ 1,92 a
Insektisida tetraniliprol (<i>Tetraniliprole insecticide</i>)	
100.000	2,69 $\pm$ 1,92 a
10.000	5,65 $\pm$ 1,27 a
7.000	5,84 $\pm$ 2,02 a
3.000	6,52 $\pm$ 3,06 a
1.000	6,66 $\pm$ 3,82 a
100	6,47 $\pm$ 2,80 a
10	7,55 $\pm$ 3,28 a
1	8,03 $\pm$ 5,45 a
0	8,68 $\pm$ 1,39 a

*Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama pada masing-masing insektisida uji tidak berbeda nyata menurut uji Tukey taraf 5%. (*Values followed by the same letter in the same column for each insecticide treatment are not significantly different based on the Tukey test at the 5% significance level).

Hasil pengujian paparan oral insektisida menunjukkan kesesuaian dengan pengujian residu. Di antara insektisida yang diuji, klotianidin menunjukkan hasil yang lebih toksik terhadap lebah dibandingkan dengan tiga insektisida lainnya. Nilai LC_{50} oral klotianidin dan karbosulfan menunjukkan angka yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi anjuran yang disarankan, yakni sekitar 730 kali untuk

klotianidin dan 10 kali untuk karbosulfan (Tabel 7). Sementara itu, LC_{50} diafentiuron dan tetraniliprol menunjukkan nilai yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi anjuran (Tabel 6 dan 7).

Tingkat toksisitas insektisida juga dapat dianalisis menggunakan nilai LD_{50} dan *hazard quotient* (HQ) yang diperoleh dari pengujian. Berdasarkan hasil yang diperoleh, karbosulfan dan klotianidin tergolong

dalam insektisida dengan tingkat toksisitas yang tinggi terhadap lebah, sedangkan diafentiuron dan tetraniliprol tergolong dalam kategori insektisida yang relatif tidak beracun terhadap lebah (Tabel 8). Nilai HQ yang dihitung juga mendukung temuan tersebut, dengan menunjukkan bahwa insektisida karbosulfan dan klotianidin termasuk dalam insektisida yang berbahaya terhadap lebah, sedangkan diafentiuron dan tetraniliprol termasuk sebagai insektisida yang tidak berbahaya terhadap lebah (Tabel 8).

PEMBAHASAN

Penurunan populasi lebah dan hubungannya dengan penggunaan insektisida saat ini menjadi isu global yang semakin mendapatkan perhatian (Potts et al. 2010). Mengingat peran penting lebah dalam proses penyerbukan, sangat penting untuk mempertimbangkan lebah dalam penilaian risiko penggunaan insektisida. Penelitian ini menunjukkan bahwa paparan insektisida terhadap lebah *T. laeviceps* berisiko menurunkan

sintasan, mengganggu sistem olfaktori, dan mengurangi tingkat konsumsi pakan pada spesies tersebut.

Lebah *T. laeviceps* memiliki preferensi yang lebih tinggi terhadap aroma sukrosa dibandingkan dengan aroma insektisida. Sukrosa adalah salah satu jenis gula utama yang terkandung dalam nektar. Nektar terdiri dari tiga gula sederhana dominan, yaitu sukrosa (disakarida), fruktosa (monosakarida), dan glukosa (monosakarida), yang berasal dari translokasi sukrosa dalam floem atau sintesis gula (fruktosa dan glukosa) dalam nektar (Nicolson & Thornburg 2007). Nektar dari sebagian besar spesies tanaman umumnya didominasi oleh gula sukrosa. Beberapa spesies tanaman, seperti yang termasuk dalam Famili Bromeliaceae memiliki kandungan sukrosa 46–49% (Krömer et al. 2008), sementara spesies dari Famili Caryophyllaceae mengandung lebih dari 50% sukrosa dalam nektarnya (Witt et al. 2013). Gula yang terkandung dalam nektar berfungsi sebagai sumber energi utama bagi lebah. Nektar sebagai pakan lebah menyediakan gula sebagai

Tabel 6. Perbandingan toksisitas residu insektisida terhadap lebah *Tetragonula laeviceps*

Table 6. Comparison of residual toxicity of insecticides to the stingless bee *Tetragonula laeviceps*

Bahan aktif (Active ingredients)	$b^a \pm GB^b$	LC ₁₅ (95% SK ^c) (ppm)	LC ₃₀ (95% SK ^c) (ppm)	LC ₅₀ (95% SK ^c) (ppm)	Konsentrasi anjuran (ppm b.a) (Recommended concentration (ppm a.i))
Karbosulfan (Carbosulfan)	1,13 ± 0,13	3,79 (1,63–6,94)	10,75 (5,71–17,97)	31,28 (18,76–52,33)	300
Klotianidin (Clothianidin)	1,32 ± 0,15	0,01 (0,00–0,03)	0,03 (0,01–0,07)	0,09 (0,04–0,20)	300
Diafentiuron (Diafenthion)	0,86 ± 0,10	502,24 (15,40–2.005,55)	1.957,27 (217,29–6.848,58)	7.882,4 (1.964,3–40.06)	1000
Tetraniliprol (Tetraniliprole)	0,61 ± 0,06	3,14 (0,03–21,30)	21,14 (0,96–95,61)	148,81 (22,30–585,93)	100

^{ab}: kemiringan garis regresi probit. bGB: galat baku. cSK: selang kepercayaan.

(^{ab}: slope of the probit regression line; bGB: standard error; cSK: confidence interval.)

Tabel 7. Perbandingan toksisitas oral insektisida terhadap lebah *Tetragonula laeviceps*

Table 7. Comparison of oral toxicity of insecticides to the stingless bee *Tetragonula laeviceps*

Bahan aktif (Active ingredients)	$b^a \pm GB^b$	LC ₁₅ (95% SK ^c) (ppm)	LC ₃₀ (95% SK ^c) (ppm)	LC ₅₀ (95% SK ^c) (ppm)	Konsentrasi anjuran (ppm b.a) (Recommended concentration (ppm a.i))
Karbosulfan (Carbosulfan)	1,95 ± 0,29	8,42 (4,13–12,49)	15,38 (9,05–22,78)	28,51 (18,92–42,09)	300
Klotianidin (Clothianidin)	2,01 ± 0,27	0,12 (0,04–0,22)	0,22 (0,10–0,40)	0,41 (0,22–0,83)	300
Diafentiuron (Diafenthion)	3,15 ± 0,45	25.281 (14.854–33.766)	36.776 (25.800–47.297)	53.983 (41.690–72.758)	1000
Tetraniliprol (Tetraniliprole)	2,77 ± 0,41	2.216,36 (1.452,11–2.877,36)	3.390,71 (2.546,15–4.157,58)	5.240,84 (4.286,47–6.398,91)	100

^{ab}: kemiringan garis regresi probit. bGB: galat baku. cSK: selang kepercayaan.

(^{ab}: slope of the probit regression line; bGB: standard error; cSK: confidence interval.)

Tabel 8. Tingkat toksisitas insektisida berdasarkan klasifikasi EPA dan *hazard quotient*
Table 8. Insecticide toxicity levels based on EPA classification and hazard quotient.

	Karbosulfan (Carbosulfan)	Klotianidin (Clothianidin)	Diafentiuron (Diafenthuiuron)	Tetraniliprol (Tetraniliprole)
LD ₅₀ (µg/lebah) (µg/bee)	0,013	0,003	125,181	46,386
Klasifikasi EPA ^a (EPA classification ^a)	Toksik tinggi (Highly toxic)	Toksik tinggi (Highly toxic)	Tidak beracun (Non-toxic)	Tidak beracun (Non-toxic)
Hazard quotient	11.781	45.002	3,651	1,478
Klasifikasi Felton et al. ^b (Classification based on Felton et al. ^b)	Berbahaya (Dangerous)	Berbahaya (Dangerous)	Tidak berbahaya (Non-dangerous)	Tidak berbahaya (Non-dangerous)

^a Klasifikasi toksisitas nilai LD50 berdasarkan EPA (2014): LD50 < 2 (tinggi); LD50 = 2-11 (moderat); dan LD50 > 11 (tidak beracun).

^b Klasifikasi *Hazard Quotient* (HQ) berdasarkan Felton et al. (1986): HQ < 50 (tidak berbahaya); HQ = 50-2500 (cukup berbahaya hingga moderat); dan HQ > 2500 (berbahaya).

(^a Toxicity classification of LD50 values based on EPA (2014): LD50 < 2 (highly toxic); LD50 = 2-11 (moderately toxic); and LD50 > 11 (non-toxic).

(^b Hazard quotient (HQ) classification based on Felton et al. (1986): HQ < 50 (non-dangerous); HQ = 50-2500 (moderately hazardous to moderately toxic); and HQ > 2500 (dangerous)).

sumber energi, sedangkan serbuk sari kaya akan protein, lipid, vitamin, dan mineral yang penting untuk pemeliharaan dan perkembangan larva lebah (Nicolson 2011).

Dalam pencarian pakan, lebah mendatangi berbagai jenis tanaman dan bunga, termasuk tanaman-tanaman yang telah mendapatkan aplikasi insektisida. Adanya paparan insektisida telah diketahui dapat mengganggu kunjungan lebah pada tanaman (Muth & Leonard 2019). Hasil penelitian ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa ada pengaruh negatif dari aplikasi insektisida terhadap lebah, yaitu lebah dapat terpapar insektisida yang sudah mencemari pakan (nektar/serbuk sari) sehingga mengganggu fisiologisnya. Lebah yang terpapar insektisida mengalami gangguan pada kemampuan olfaktorinya yang menghambat kemampuan lebah untuk membedakan aroma (Mustard et al. 2020). Bahkan, penelitian lapangan di pertanian apel menunjukkan terjadinya peningkatan kunjungan lebah terhadap bunga apel ketika terpapar tiametoksam meskipun peningkatan aktivitas ini tidak menghasilkan peningkatan kualitas penyerbukan (Stanley et al. 2015). Meskipun begitu, terjadi penurunan durasi waktu yang dihabiskan lebah saat mencari pakan yang sudah terpapar insektisida yang menunjukkan lebah masih memiliki sensitivitas terhadap kualitas pakan yang dikonsumsi. Penelitian lain terhadap lebah *T. laeviceps* pada tanaman mentimun secara semi-lapangan menunjukkan terjadinya penurunan aktivitas pada petak yang diperlakukan dengan insektisida imidakloprid dan fipronil, dengan durasi kunjungan lebah hanya berkisar 15–62 detik saja (Hasanah et al. 2024). Akibatnya, lebah tetap mengunjungi pakan yang terpapar insektisida meskipun dalam durasi yang lebih singkat sehingga lebah tetap terpapar risiko kontaminasi insektisida.

Gangguan fisiologi pada olfaktori atau sensorik lebah dipandang sebagai salah satu faktor kunci yang dapat merusak kemampuan kognitif, khususnya dalam aktivitas mencari pakan (Muth & Leonard 2019). Mekanisme gangguan sistem olfaktori ini telah diungkapkan melalui studi efek merugikan dari insektisida terhadap neurofisiologi lebah yang menunjukkan bahwa paparan insektisida dapat memodifikasi aktivitas neuron sensorik olfaktori yang dipicu oleh odor, menurunkan respons saraf pada lobus antena (pusat pemrosesan awal sinyal penciuman), serta mengganggu perkembangan konektivitas saraf di dalam *mushroom body* (Paoli & Giurfa 2024). Perubahan pada persepsi olfaktori lebah ini berimplikasi langsung pada berbagai perubahan perilaku, termasuk kesulitan dalam menavigasi dan menemukan makanan serta penurunan efisiensi makan.

Kontaminasi insektisida klotianidin dan karbosulfan pada pakan menyebabkan penurunan kemampuan makan lebah *T. laeviceps*. Penurunan serupa juga terjadi pada lebah *N. perilampoides*, yang menunjukkan bahwa paparan insektisida imidakloprid (neonikotinoid) mengakibatkan penurunan daya tahan dan konsumsi pakan lebah (Naggar et al. 2022). Sebaliknya, insektisida diafentiuron dan tetraniliprol tidak menyebabkan penurunan kemampuan makan yang signifikan pada lebah *T. laeviceps*. Hal tersebut menunjukkan bahwa keduanya memiliki tingkat risiko toksik yang lebih rendah terhadap spesies ini.

Insektisida tidak hanya mengganggu sistem olfaktori dan kemampuan makan lebah, tetapi juga dapat memiliki efek toksik yang menyebabkan kematian pada koloni lebah. Insektisida karbosulfan dan klotianidin tergolong sangat toksik bagi lebah, baik melalui paparan dermal maupun oral. Insektisida karbosulfan yang termasuk golongan insektisida

karbamat (1A) telah dilaporkan beracun bagi lebah madu (Bekić et al. 2014). Sementara itu, insektisida klotianidin telah dilaporkan berbahaya bagi lebah dan termasuk ke dalam insektisida golongan neonikotinoid (4A) yang diduga menjadi salah satu penyebab terjadinya fenomena *colony collapse disorder* (CCD) di Eropa dan Amerika (Bekić et al. 2014).

Insektisida klotianidin memiliki toksisitas rendah terhadap mamalia dan efektif untuk mengendalikan hama penusuk-penghisap pada tanaman (Tomizawa & Casida 2005; Simon-Delso et al. 2015). Neonikotinoid bekerja sebagai modulator kompetitif dari reseptor asetilkolin nikotinik (nAChR). Neonikotinoid berikatan lebih kuat dengan nAChR serangga dibandingkan dengan nAChR vertebrata sehingga secara selektif lebih beracun bagi serangga dan tidak menimbulkan bahaya bagi mamalia (Kundoo et al. 2018). Hal yang sama dengan insektisida klotianidin, karbosulfan juga mengganggu sistem saraf dari serangga. Karbosulfan termasuk dalam kelompok benzofuranyl metil karbamat dan memiliki cara kerja menghambat fungsi enzim asetilkolinesterase (AChE) yang bertindak untuk mengurai asetilkolin menjadi asetat dan kolin (IRAC 2024).

Berbeda dengan insektisida klotianidin dan karbosulfan, insektisida diafenthiuron tergolong ke dalam insektisida yang tidak beracun dan relatif aman bagi lebah. Diafenthiuron dilaporkan sedikit berbahaya terhadap lebah dalam pengujian laboratorium (Stanley et al. 2009) dan tidak berbahaya bagi lebah dalam kondisi lapangan (Stanley et al. 2010). Paparan insektisida tetraniliprol juga tergolong relatif aman terhadap lebah *T. laeviceps*. Tetraniliprol dikategorikan sebagai insektisida dengan risiko rendah terhadap individu dan koloni lebah *A. mellifera* (EPA 2020), bahkan tidak beracun bagi spesies lebah *Bombus terrestris* (Linnaeus) (Minnesota Department of Agriculture 2023). Selain itu, insektisida klorantraniliprol yang memiliki mekanisme dan golongan yang sama dengan tetraniliprol (28, diamida) juga dilaporkan memiliki risiko rendah terhadap lebah *T. laeviceps* (Hasanah et al. 2024).

Paparan insektisida yang memiliki tingkat toksisitas tinggi, seperti karbosulfan dan klotianidin, dapat menyebabkan penurunan populasi lebah. Risiko toksik ini dapat menjadi lebih besar ketika lebah terpapar oleh insektisida secara kronis. Meskipun paparan kronis tidak menyebabkan kematian langsung, mekanisme toksisitas jangka panjang ini memungkinkan terjadinya kontaminasi insektisida pada koloni lebah melalui perilaku trofalaksis di antara individu di dalam sarang (Buren et al. 1992). Akumulasi insektisida dapat mengganggu kesehatan koloni lebah

secara keseluruhan, menyebabkan dampak toksik baik pada imago maupun larva lebah, dan berpotensi mengarah pada disfungsi sistem saraf lebah dan sistem fisiologis lainnya (Mullin et al. 2010). Implikasi paparan insektisida ini lebih lanjut dapat mengancam keberadaan lebah di ekosistem yang menyebabkan terganggunya proses penyerbukan dan menurunnya hasil produksi tanaman. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai toksisitas dan dampak berbagai jenis insektisida terhadap lebah sangat penting sebagai landasan dalam pengambilan keputusan terkait aplikasi insektisida yang mempertimbangkan keberlanjutan populasi lebah di ekosistem pertanian.

KESIMPULAN

Paparan insektisida dapat mengganggu perilaku makan serta menurunkan sintasan pada lebah *T. laeviceps*. Paparan insektisida mempersingkat durasi kunjungan lebah *T. laeviceps* ($P = 0,006$), meskipun frekuensi kunjungan lebah antara sukrosa dan insektisida tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P = 0,286$). Insektisida karbosulfan (10.000 dan 3.000 ppm) dan klotianidin (300; 30; 3; 0,3; dan 0,03 ppm) juga secara signifikan mengurangi kemampuan lebah untuk mengonsumsi pakan. Selain mengganggu perilaku makan, paparan insektisida juga menyebabkan mortalitas pada lebah. Insektisida karbosulfan dan klotianidin tergolong dalam insektisida yang sangat toksik dan berbahaya bagi lebah *T. laeviceps* (LD_{50} berturut-turut 0,013 dan 0,003 $\mu\text{g}/\text{lebah}$), sedangkan diafenthiuron dan tetraniliprol memiliki tingkat bahaya yang rendah (LD_{50} berturut-turut 125,181 dan 46,386 $\mu\text{g}/\text{lebah}$). Informasi tentang toksisitas insektisida ini menjadi dasar dalam aplikasi insektisida untuk melindungi keberlanjutan populasi lebah yang berperan sangat penting bagi ekosistem dan sektor pertanian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi melalui program beasiswa PMDSU yang telah memberikan dana penelitian dengan nomor kontrak 027/E5/PG.02.00.PL/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmowidi T, Prawasti TS, Rianti P, Prasajo FA, Pradipta NB. 2022. Stingless bees pollination increases fruit formation of strawberry (*Fragaria x annanassa* Duch) and melon (*Cucumis melo* L.). *Tropical Life Sciences Research*. 33:43–54. DOI: <https://doi.org/10.21315/tlsr2022.33.1.3>.
- Aurell D, Bruckner S, Wilson M, Steinhauer N, Williams GR. 2023. A national survey of managed honey bee colony losses in the USA: Results from the Bee Informed

- Partnership for 2020–21 and 2021–22. *Journal of Apicultural Research*. 63:1–14. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2023.2264601>.
- A'yunin Q, Rauf A, Harahap IS. 2019. Foraging behaviour and pollination efficiency of *Heterotrigona itama* (Cockerell) and *Tetragonula laeviceps* (Smith) (Hymenoptera: Apidae) on chayote. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 24:247–257. DOI: <https://doi.org/10.18343/jipi.24.3.247>.
- Bekić B, Jeločnik M, Subić J. 2014. Honey bee colony collapse disorder (*Apis mellifera* L.)-possible causes. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 14:13–18.
- Bruckner S, Wilson M, Aurell D, Rennich K, Engelsdorp DV, Steinhauer N, Williams GR. 2023. A national survey of managed honey bee colony losses in the USA: results from the Bee Informed Partnership for 2017–18, 2018–19, and 2019–20. *Journal of Apicultural Research*. 62:429–443. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2158586>.
- Buchori D, Rizali A, Priawandiputra W, Raffiudin R, Sartiami D, Pujiastuti Y, Jauharlina, Pradana MG, Meilin A, Leatemia JA, et al. 2022. Beekeeping and managed bee diversity in Indonesia: Perspective and preference of beekeepers. *Diversity*. 14:1–14. DOI: <https://doi.org/10.3390/d14010052>.
- Buren NWMV, Mariën AGH, Velthuis HHW. 1992. The role of trophallaxis in the distribution of Perizin in a honeybee colony with regard to the control of the *Varroa* mite. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 2:157–164. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1992.tb01639.x>.
- Chuttong B, Panyaraksa L, Tiayon C, Kumpoun W, Chantrasri P, Lertlakkanawat P, Jung C, Burgett M. 2022. Foraging behavior and pollination efficiency of honey bees (*Apis mellifera* L.) and stingless bees (*Tetragonula laeviceps* species complex) on mango (*Mangifera indica* L., cv. Nam Dokmai) in Northern Thailand. *Journal of Ecology and Environment*. 15:1–7. DOI: <https://doi.org/10.5141/jee.22.012>.
- [EPA] Environmental Protection Agency. 2014. Guidance for Assessing Pesticide Risks to Bees. Washington DC: The United States Environmental Protection Agency.
- [EPA] Environmental Protection Agency. 2020. EPA Proposes Registration of Tetraniliprole, a New Insecticide Active Ingredient. United States: EPA. <https://www.epa.gov/pesticides/epa-proposes-registration-tetraniliprole-new-insecticide-active-ingredient>. [diakses 24 September 2024].
- Felton JC, Oomen PA, Stevenson JH. 1986. Toxicity and hazard of pesticides to honeybees: harmonization of test methods. *Bee World*. 3:114–124. DOI: <https://doi.org/10.1080/0005772X.1986.11098883>.
- Gullan PJ, Cranston PS. 2014. *The Insects: An Outline of Entomology-Fifth Edition*. Chichester: Wiley Blackwell.
- Hasanah IR, Mubin N, Sartiami D, Priawandiputra W, Dadang. 2024. The toxicity test of synthetic insecticides on *Tetragonula laeviceps* (Apidae: Meliponini). *Hayati*. 31: 271–283. DOI: <https://doi.org/10.4308/hjb.31.2.271-283>.
- Insolia L, Molinari R, Rogers SR, Williams GR, Chiaromonte F, Calovi M. 2022. Honey bee colony loss linked to parasites, pesticides and extreme weather across the United States. *Scientific Reports*. 12:1–13. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24946-4>.
- [IRAC] Insecticide Resistance Action Committee. 2024. IRAC Mode of Action Classification Scheme. <https://irac-online.org/documents/moa-classification/>. [diakses 24 September 2024].
- Krömer T, Kessler M, Lohaus G, Lebuhn ANS. 2008. Nectar sugar composition and concentration in relation to pollination syndromes in Bromeliaceae. *Plant Biology*. 4:502–511. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2008.00058.x>.
- Kundoo AA, Dar SA, Mushtaq M, Bashir Z, Dar MS, Gul S, Ali MT, Gulzar S. 2018. Role of neonicotinoids in insect pest management: a review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 6:333–339.
- Li Y, Zhong S, Qin Y, Zhang S, Gao Z, Dang Z, Pan W. 2014. Identification of plant chemicals attracting and repelling whiteflies. *Arthropod-Plant Interactions*. 3:183–190. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11829-014-9302-7>.
- Masrianih M, Dhafir F, Trianto M. 2022. Pollen collected by stingless bees *Tetragonula laeviceps* (Smith, 1857) (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) from Central Sulawesi. *Jurnal Biologi Tropis*. 22:851–856. DOI: <https://doi.org/10.29303/jbt.v22i3.3885>.
- Minnesota Department of Agriculture. 2023. Tetraniliprole. United States: Minnesota Department of Agriculture. <https://www.mda.state.mn.us/sites/default/files/docs/2023-10/tetraniliprolereview.pdf>. [diakses 24 September 2024].
- Mubin N, Kusmita AO, Rohmah A, Nurmansyah A. 2022. Economic values of pollination service of open pollination with the help of *Tetragonula laeviceps* (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) on tomato and chili. *Biodiversitas*. 23:2544–2552. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230535>.
- Mullin CA, Frazier M, Frazier JL, Ashcraft S, Simonds R, Engelsdorp DV, Pettis JS. 2010. High levels of miticides and agrochemicals in North American apiaries: Implications for honey bee health. *PLoS ONE*. 3:1–19. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009754>.
- Mustard JA, Gott A, Scott J, Chavarria NL, Wright GA. 2020. Honeybees fail to discriminate floral scents in a complex learning task after consuming a neonicotinoid pesticide. *Journal of Experimental Biology*. 5:1–8. DOI: <https://doi.org/10.1242/jeb.217174>.
- Muth F, Leonard AS. 2019. A neonicotinoid pesticide impairs foraging, but not learning, in free-flying bumblebees. *Scientific Reports*. 9:1–13. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39701-5>.
- Naggar YA, Estrella-Maldonado H, Paxton RJ, Solís T, Quezada-Euán JJG. 2022. The insecticide imidacloprid decreases *Nannotrigona* stingless bee survival and food consumption and modulates the expression of detoxification and immune-related genes. *Insects*. 13:1–14. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects13110972>.
- Nicolson SW, Thornburg RW. 2007. Nectar chemistry. Di dalam: Nicolson SW, Nepi M, Pacini E (Eds). *Nectaries and Nectar*. hlm 215–263. New York: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5937-7_5.

- Nicolson SW. 2011. Bee food: the chemistry and nutritional value of nectar, pollen and mixtures of the two. *African Zoology*. 2:197–204. doi: <http://dx.doi.org/10.3377/004.046.0201>.
- Paoli M, Giurfa M. 2024. Pesticides and pollinator brain: How do neonicotinoids affect the central nervous system of bees?. *European Journal of Neuroscience*. 60:5927–5948. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejn.16536>.
- Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, Neumann P, Schweiger O, Kunin WE. 2010. Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*. 25:345–353. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>.
- Putra DP, Badal B. 2018. Efektivitas pollinasi *Apis cerana* Fabr. dan *Trigona laeviceps* dalam meningkatkan hasil tanaman cabai (*Capsicum annum* L.). Di dalam: Afza A, Susanti S, Rizki (Ed.), *Peran Pendidikan dan Sains dalam Mewujudkan Sumber Daya Manusia yang Kompetitif. Seminar Nasional Biologi Edukasi; (Padang, 7 April 2018)*. hlm. 348–358. Padang: Program Studi Pendidikan Biologi STKIP PGRI Sumatera Barat.
- R Core Team. 2024. R: a language and environment for statistical computing. Available at: <http://www.Rproject.org/>. [diakses 2 Februari 2025].
- Rahmani AS, Putra RE, Wawan Gunawan. 2020. Efisiensi penyerbukan oleh penyerbuk liar dan lebah *Tetragonula laeviceps* pada bunga ranti dan kacang panjang. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 48:283–291. DOI: <https://doi.org/10.24831/jai.v48i3.32607>.
- Simon-Delso N, Amaral-Rogers V, Belzunces LP, Bonmatin JM, Chagnon M, Downs C, Furlan L, Gibbons DW, Giorio C, Girolami V, et al. 2015. Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): Trends, uses, mode of action and metabolites. *Environmental Science and Pollution Research*. 22:5–34. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3470-y>.
- Stanley DA, Garratt MPD, Wickens JB, Wickens VJ, Potts SG, Raine NE. 2015. Neonicotinoid pesticide exposure impairs crop pollination services provided by bumblebees. *Nature*. 528:548–550. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature16167>.
- Stanley J, Preetha G, Chandrasekaran S, Kuttalam S. 2009. Honey bees of the cardamom ecosystem and the selective toxicity of diafenthiuron to four different bee species in the laboratory. *Journal of Apicultural Research and Bee World*. 48:91–98. DOI: <https://doi.org/10.3896/IBRA.148.2.02>.
- Stanley J, Chandrasekaran S, Preetha G, Kuttalam S. 2010. Toxicity of diafenthiuron to honey bees in laboratory, semi-field and field conditions. *Pest Management Science*. 66:505–10. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.1900>.
- Syahputra E. 2001. Bioaktivitas sediaan *Dysoxylum acutangulum* Miq. (Meliaceae) terhadap *Crocidolomia binotalis* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). Tesis. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Tang J, Ma C, Shi W, Chen X, Liu Z, Wang H, Chen C. 2020. A national survey of managed honey bee colony winter losses (*Apis mellifera*) in China (2013–2017). *Diversity*. 12:1–14. DOI: <https://doi.org/10.3390/d12090318>.
- Theisen-Jones H, Bienefeld K. 2016. The Asian honey bee (*Apis cerana*) is significantly in decline. *Bee World*. 93:90–97. DOI: <https://doi.org/10.1080/0005772X.2017.1284973>.
- Tomizawa M, Casida JE. 2005. Neonicotinoid insecticide toxicology: Mechanisms of selective action. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*. 45:247–68. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.pharmtox.45.120403.095930>.
- Vanbergen AJ, Garratt MP, Vanbergen AJ, Baude M, Biesmeijer JC, Britton NF, Brown MJF, Brown M, Bryden J, Budge GE, et al. 2013. Threats to an ecosystem service: Pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 11:251–259. doi: <https://doi.org/10.1890/120126>.
- Witt T, Jürgens A, Gottsberger G. 2013. Nectar sugar composition of European Caryophyllaceae (Caryophyllaceae) in relation to flower length, pollination biology and phylogeny. *Journal of Evolutionary Biology*. 10:2244–2259. DOI: <https://doi.org/10.1111/jeb.12224>.
- Zidni I, Mubin N, Nurmansyah A. 2021. Quantity and quality of cucumber fruit resulted from various methods of pollination. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*. 23:78–83. DOI: <https://doi.org/10.31186/jipi.23.2.78-83>.