



**EFISIENSI PENYERBUKAN *Tetragonula laeviceps* PADA BUDI DAYA
TUMPANG SARI TOMAT DAN MENTIMUN DI *GREENHOUSE***
**POLLINATION EFFICIENCY OF *Tetragonula laeviceps* ON MULTICROPPING SYSTEM OF
TOMATO AND CUCUMBER IN *GREENHOUSE***

**Ramadhani Eka Putra^{1,2*}, Novitasari¹, Mia Rosmiati¹, Inayati Zakiyatun Husna¹,
Eka Setiyarni¹, Ida Kinasih³**

¹*Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung, Indonesia*

²*Program Studi Biologi, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Indonesia*

³*Jurusan Biologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung, Indonesia*

*Corresponding author: ramadhani@sith.itb.ac.id

Naskah Diterima: 19 Desember 2022; Direvisi: 14 Juli 2023; Disetujui: 16 November 2023

Abstrak

Penyerbukan oleh serangga liar merupakan salah satu servis ekosistem yang tidak dapat diperoleh oleh sistem pertanian tertutup. Hal tersebut mungkin dapat digantikan oleh lebah yang didomestikasi, seperti lebah tidak bersengat (*Tetragonula laeviceps*). Pada penelitian ini, koloni *T. laeviceps* diuji coba sebagai sistem tumpang sari tomat (*Lycopersicon esculentum* L.) dan mentimun (*Cucumis sativus* L.) yang ditanam pada *greenhouse*. Kesuksesan penyerbukan diamati pada 100 tangkai bunga tomat dan mentimun oleh koloni *T. laeviceps* yang ditempatkan pada *greenhouse*, kemudian dibandingkan dengan kesuksesan penyerbukan pada sistem budi daya yang terdapat di luar *greenhouse* (penyerbukan terbuka). Untuk dapat menjelaskan peran dari *T. laeviceps* sebagai penyerbuk maka dilakukan juga pengamatan pada tingkat kunjungan lebah, laju kunjungan, dan waktu yang dihabiskan pada bunga. Efek lanjutan dari proses penyerbukan seperti diameter, panjang, bobot, dan jumlah biji juga diamati dan dibandingkan antara kelompok yang dibudidayakan di dalam dan di luar *greenhouse*. Efisiensi penyerbukan dan kualitas buah tomat yang dihasilkan di luar *greenhouse* secara signifikan lebih baik dibandingkan dengan aplikasi lebah tidak bersengat di dalam *greenhouse*. Efisiensi penyerbukan mentimun dengan *T. laeviceps* (14%) sangat rendah dibandingkan dengan penyerbukan terbuka (73%), namun kualitas buah yang dihasilkan lebih tinggi walaupun tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Di sisi lain, efisiensi penyerbukan tomat dengan *T. laeviceps* (45%) sangat rendah dibandingkan dengan penyerbukan terbuka (80%), dengan kualitas buah jauh lebih rendah. Berdasarkan hasil dapat disimpulkan bahwa *T. laeviceps* dapat diaplikasikan sebagai agen penyerbuk pada sistem *greenhouse*, namun belum dapat menggantikan keuntungan dari variasi dari agen penyerbuk (biotik dan abiotik) yang terdapat pada sistem budi daya di sistem terbuka. Hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk mendesain sistem produksi buah di dalam *greenhouse* yang berkesinambungan melalui aplikasi servis penyerbukan.

Kata Kunci: *Greenhouse*; Mentimun; Penyerbukan; *Tetragonula laeviceps*; Tomat

Abstract

Closed system farming system is lack of natural pollination service which might solve the by application of domesticated bees, such as stingless bees (*Tetragonula laeviceps*) as pollination agent. This hypothesis was tested in this study in which *T. laeviceps* was applied as pollination agent of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) cultivated as companion plants inside the greenhouse. During this study, pollination efficiency and its effect on fruit quality (such as dimension, weight, and seed numbers) of application of *T. laeviceps* as a pollination agent were compared to natural pollination systems outside the greenhouse (open pollination). The variables were observed on 100 flowers of both tomato and cucumber cultivated inside and outside greenhouse. The efficiency of pollination by *T. laeviceps* (14%) on cucumber was significantly lower than open pollination (73%) and the quality of the fruit produced was lower although insignificant. On the other hand, the efficiency of pollination by *T. laeviceps* (45%) on tomato was also significantly lower than open pollination (80%) and the quality of the fruit produced was significantly lower. Based on this study, although stingless bees have great potency to be applied as pollinators for cultivated crops inside a greenhouse, they still do not completely replace the benefit of pollinator diversity (biotic and abiotic). Furtherly, this study could be applied as a foundation to design a sustainable fruit production inside greenhouse by applying the pollination services.

Keywords: *Cucumber*; *Greenhouse*; *Pollination*; *Tetragonula laeviceps*; *Tomato*

Permalink/DOI: <http://dx.doi.org/10.15408/kauniyah.v17i2.29769>

PENDAHULUAN

Peranan sayuran dalam upaya perbaikan gizi di negara-negara berkembang seperti Indonesia semakin meningkat. Penggunaan varietas unggul dan metode produksi yang efisien memiliki potensi tinggi untuk meningkatkan produktivitas dan pemerataan distribusinya. Sistem budi daya merupakan salah satu faktor yang berpengaruh cukup signifikan terhadap stabilisasi sistem produksi tanaman pertanian (Adiyoga et al., 2004). Salah satu tantangan terbesar pada dunia pertanian di Indonesia adalah penurunan kepemilikan lahan pertanian oleh petani. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal ini adalah menggunakan metode tumpang sari yang dapat diterapkan pada tanaman-tanaman komoditas andalan Jawa Barat seperti tomat dan mentimun (Schultz et al., 1982).

Sebagaimana sebagian besar tanaman buah lainnya, produktivitas dari tomat dan mentimun sangat ditentukan oleh kesuksesan proses penyerbukan. Penyerbukan mempunyai peranan yang sangat penting untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi tanaman hortikultura terutama pada sistem pertanian kecil (Elisante et al., 2020). Proses penyerbukan pada sistem pertanian umumnya mengandalkan serangga sebagai agen yang membantu proses ini (Garibaldi et al., 2016; Klein et al., 2007). Serangga yang memiliki peran paling penting dalam penyerbukan tanaman adalah lebah, terutama lebah sosial yang terdiri dari dua kelompok besar yaitu lebah madu dan lebah tidak bersengat (*stingless bees*) (Hristov et al., 2020; Khalifa et al., 2021). Tomat merupakan tanaman yang memiliki bunga hermaphrodit yang dapat melakukan penyerbukan sendiri. Bunga tomat memiliki tabung anter dengan celah kecil pada apikal yang membatasi akses serangga terhadap serbuk sari. Beberapa spesies lebah telah teradaptasi dengan struktur bunga tomat tersebut dengan melakukan *buzz pollination*, sehingga kepala sari melepaskan polen sehingga dapat mereka koleksi dimana pada saat bersamaan sebagian jatuh di kepala putik yang berperan dalam proses penyerbukan (Nunes-Silva et al., 2013). Mentimun merupakan tanaman berumah satu yang dalam proses penyerbukannya membutuhkan bantuan dari agen penyerbuk.

Lebah tidak bersengat (contoh: *Tetragonula laeviceps*) merupakan salah satu spesies yang telah didomestikasi dan memiliki peran penting dalam penyerbukan tanaman di Indonesia (A'yunin et al., 2019; Putra et al., 2014 & 2017; Wulandari et al., 2017). Lebah ini pada umumnya ditenakkan untuk mendapatkan madu dan propolis, sedangkan peran utama di alam adalah sebagai pollinator (Eltz et al., 2003). Lebah tidak bersengat sendiri telah diaplikasikan sebagai agen penyerbuk dan meningkatkan produktivitas pada sistem budi daya mentimun (Azmi et al., 2017) dan tomat (Putra & Kinasih, 2014) namun tidak pernah pada sistem tumpang sari kedua tanaman ini. Penelitian ini diharapkan untuk memperoleh data atau informasi dasar mengenai aplikasi sistem pertanaman polikultur tanaman tomat dengan mentimun yang terintegrasi dengan *stingless bees* lokal untuk meningkatkan hasil produksi tanaman dengan sistem produksi sayuran yang berkelanjutan.

MATERIAL DAN METODE

Penelitian mencakup pengamatan di *greenhouse* serta pengukuran di laboratorium. Pengamatan di lapangan dilakukan di lahan petani di Dusun Margabakti, Desa Sukawangi, Kecamatan Pamulihan, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. Kondisi rata-rata suhu lingkungan adalah 21–30 °C. Pengukuran produk hasil panen dilakukan di Laboratorium Produksi Biomassa Rekayasa Pertanian kampus ITB Jatinangor.

Mentimun yang digunakan adalah varietas Bell F1, sedangkan tomat yang digunakan adalah varietas Permata F1. Koloni lebah madu yang digunakan adalah koloni *Tetragonula laeviceps* dengan ukuran koloni antara 200–400 individu. Koloni ini diperoleh dari peternak lokal di sekitar daerah Sumedang dan sebelum digunakan pada penelitian diaklimatisasi selama 1 bulan.

Penelitian ini mengacu pada prosedur kerja yang dilakukan penelitian serupa mengenai efisiensi penyerbukan (Klein et al., 2003) terhadap tomat (Putra & Kinasih, 2014) dan mentimun (dos-Santos et al., 2008). Pelrlakuan pada penelitian ini, yaitu penyerbukan tertutup di dalam *greenhouse* dengan agen penyerbuk lebah tidak bersengat (*T. laeviceps*), dan *penyerbukan terbuka* di lahan terbuka dengan agen penyerbuk yang diamati adalah lebah *Apis cerana*. Penelitian ini

terbagi menjadi tiga tahap, yaitu tahap penanaman dan pemeliharaan, perlakuan penyerbukan, serta tahap pemanenan.

Proses Budi Daya

Penanaman dilakukan menggunakan sistem pertanaman tumpang sari dengan jarak 70 cm x 50 cm. Benih tomat disemaikan selama 15 hari kemudian dipindahkan pada lahan tanam sebelum dipindahkan pada lubang tanam yang telah disediakan. Sementara itu, biji mentimun dimasukkan pada lubang tanam yang terdapat di sebelah lubang tanaman tomat. Tanaman yang mati pada 1 minggu awal pembibitan digantikan dengan tanaman baru yang dibibitkan pada *polybag*. Pemupukan satu minggu dengan menggunakan pupuk NPK sebanyak 3 g per lubang tanam. Sebagai persiapan untuk perambatan tanaman maka dilakukan pemasangan sulur berupa pagar bambu yang dipotong dengan lebar 3–4 cm dan tinggi 150 cm di sekitar lubang tanam. Setiap sulur dihubungkan dengan tali sebagai tempat merambat tanaman. Aktivitas pemotongan tunas air pada tanaman tomat agar dapat tumbuh dan menghasilkan buah dengan kualitas baik.

Perlakuan Penyerbukan

Penyerbukan terbuka dilakukan pada areal lahan terbuka, sedangkan penyerbukan menggunakan *T. laeviceps* dilakukan di dalam *greenhouse*, terbuat dari kain kasa berwarna putih (diameter 10 μm) berukuran 7 m x 2 m dan tinggi 1,5 m, dengan menempatkan 1 koloni dalam *screen house* tersebut. Pengamatan dilakukan pada 10 sampel bunga dari masing-masing 10 tanaman mentimun dan 10 tanaman tomat pada setiap perlakuan. Bunga yang dipilih pada tanaman mentimun adalah 10 bunga betina pertama yang tumbuh, sedangkan pada tanaman tomat adalah 10 bunga setiap tanaman. Tanaman dan bunga terpilih ditandai dengan etiket yang terbuat dari kertas *newtop* dengan ukuran 10 cm x 10 cm untuk tanaman dan 1 cm x 5 cm untuk bunga. Observasi dilakukan pada cuaca cerah diantara pukul 08.00–16.00 WIB. Observasi dilakukan selama 5 menit setiap jam selama 3 hari. Parameter yang diamati untuk menentukan aktivitas lebah pada bunga terdiri dari *visitation rate* (tingkat kunjungan) yang didapatkan dengan menghitung persentase dari total kunjungan yang dilakukan saat mengunjungi bunga dan *flower handling time* (lama serangga beraktivitas pada bunga) yang merupakan lama waktu suatu serangga mengunjungi satu bunga (detik/bunga).

Pemanenan dan Penentuan Kualitas serta Potensi Produktivitas

Pemanenan dilakukan secara berkala untuk setiap tanaman. Panen dilakukan ketika buah yang dihasilkan sudah memenuhi syarat untuk dipanen dengan ukuran yang disesuaikan dengan kebutuhan pasar lokal. Perhitungan dilakukan terhadap parameter kuantitatif dan kualitatif dari produk yang dipanen. Parameter kuantitatif berupa jumlah buah, diameter, panjang, dan bobot buah. Pengujian kualitatif diuji melalui uji organoleptik dengan 20 panelis untuk setiap perlakuan. Digunakan skala hedonik untuk mengukur tingkat tekstur, aroma, rasa, dan kesegaran. Efisiensi penyerbukan dihitung menggunakan persamaan, $EF = \frac{\text{total bunga yang menghasilkan buah}}{\text{total bunga yang diamati}}$. Perhitungan terhadap estimasi produktivitas sistem pertanaman tumpang sari dengan bantuan agen penyerbuk *T. Laeviceps* dihitung berdasarkan nilai efisiensi penyerbukan dikali dengan potensi hasil maksimal tanaman.

Analisa Data

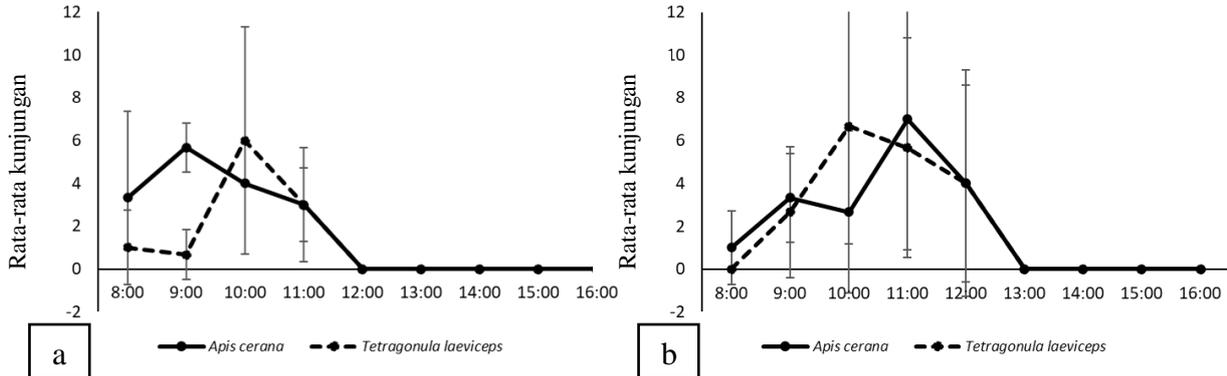
Data yang diperoleh dianalisis secara statistika dengan uji *Independent Sample t-Test* apabila data berdistribusi normal, dan dilakukan uji *Mann Whitney* apabila distribusi data tidak normal. Tingkat kepercayaan yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,05. Proses perhitungan statistik dilakukan dengan menggunakan paket statistik pada Ms. Excel.

HASIL

Aktivitas Serangga Penyerbuk

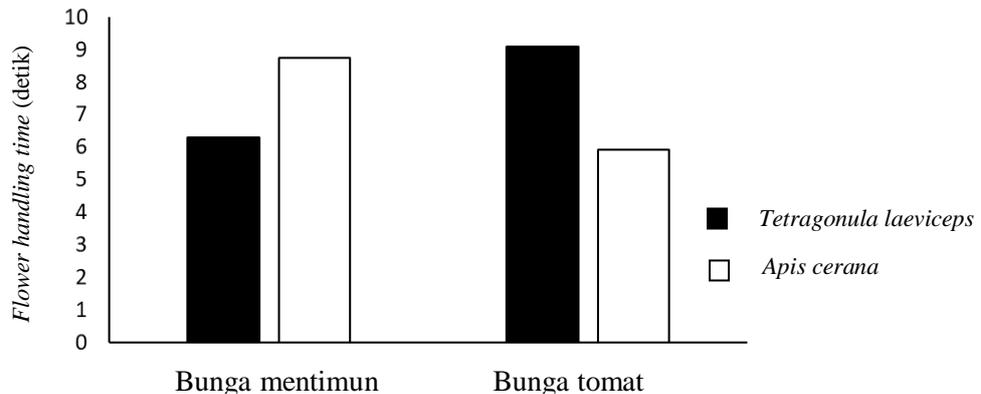
Pada penelitian ini terdapat 2 jenis lebah yang mengunjungi bunga, yaitu lebah madu asia (*A. cerana*), yang terdapat pada sistem pertanian terbuka, dan lebah tanpa sengat (*T. laeviceps*), yang

terdapat di dalam *greenhouse*. Kedua spesies lebah ini memiliki perbedaan dalam pola kunjungan untuk setiap bunga. Pada tanaman mentimun, *A. cerana* memiliki puncak kunjungan tertinggi pada pukul 09.00 sedangkan *T. laeviceps* pada pukul 10.00. Pada tanaman tomat, puncak kunjungan *A. cerana* dicapai pada pukul 11.00, sedangkan *T. laeviceps* pada pukul 10.00. kedua lebah mengakhiri aktivitas kunjungan pada pukul 12.00 untuk bunga mentimun dan 13.00 untuk bunga tomat (Gambar 1).

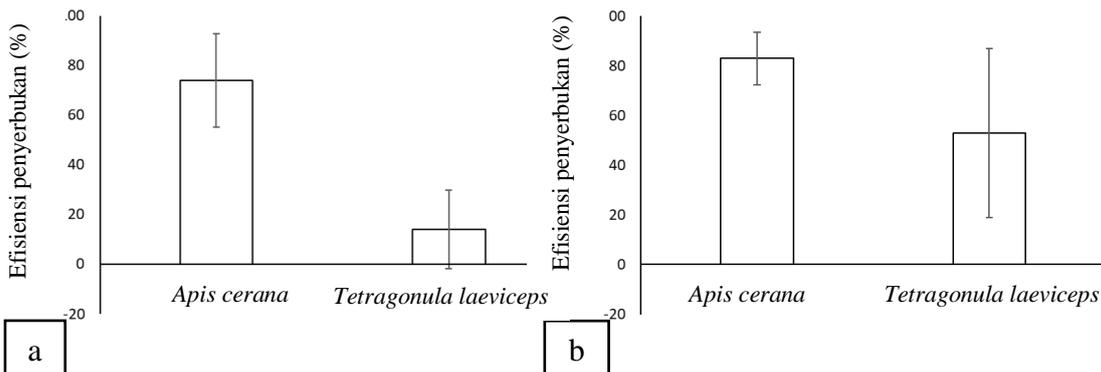


Gambar 1. Pola kunjungan *Apis cerana* dan *Tetragonula laeviceps* pada bunga dari (a) mentimun dan (b) tomat

Lebah *A. cerana* dan *T. laeviceps* memiliki perbedaan pada waktu yang dihabiskan pada bunga. Secara rata-rata, *A. cerana* memiliki *flower handling time* lebih lama pada bunga mentimun sedangkan *T. laeviceps* menghabiskan waktu lebih lama pada bunga tomat (Gambar 2). Bila dilakukan perbandingan di antara kedua lebah ini maka pada bunga mentimun, *A. cerana* lebih lama menghabiskan waktu di bunga dibandingkan *T. laeviceps* sementara hal sebaliknya ditemukan pada pengamatan di bunga tomat.



Gambar 2. Perbandingan *flower handling time* antara *Apis cerana* dan *Tetragonula laeviceps* pada bunga mentimun dan tomat



Gambar 3. Efisiensi penyerbukan oleh *Apis cerana* dan *Tetragonula laeviceps* pada mentimun (a) dan tomat (b)

Efisiensi Penyerbukan

Proses penyerbukan yang dibantu oleh *A. cerana* menghasilkan efisiensi penyerbukan sebesar 73% pada mentimun dan 80% pada tomat. Secara umum, efisiensi penyerbukan oleh *A. cerana* secara signifikan jauh lebih baik dari *T. laeviceps*, baik pada tanaman mentimun maupun tomat ($P < 0,05$) (Gambar 3) ($t_{Stat} = 7,488$; $t_{Critical\ one-tile} = 1,734$).

Kuantitas dan Kualitas Panen

Buah Mentimun

Tidak terdapat perbedaan signifikan pada diameter, panjang dan bobot buah (*Mann Whitney* $P > 0,05$) antara mentimun yang dihasilkan melalui penyerbukan terbuka, memiliki diameter lebih besar dan yang dihasilkan di dalam *greenhouse* dengan bantuan *T. laeviceps* sebagai agen penyerbuk memiliki panjang dan bobot lebih berat (Tabel 1). Di sisi lain, penelitian ini juga tidak menemukan perbedaan signifikan pada jumlah biji yang dihasilkan antara kedua kelompok walau jumlah biji pada timun yang dihasilkan di dalam *greenhouse* lebih tinggi jumlahnya (Tabel 1).

Tabel 1. Kualitas dan jumlah biji mentimun yang dihasilkan pada sistem penyerbukan terbuka dan aplikasi *Tetragonula laeviceps* pada sistem budi daya dalam *greenhouse*

Perlakuan	Parameter buah			Jumlah biji
	Diameter (cm)	Panjang (cm)	Bobot (g)	
Penyerbukan terbuka	4,3567 ± 0,305 ^a	12,87 ± 1,06 ^a	127,58 ± 32,34 ^a	245 ± 34,48 ^a
<i>T. laeviceps</i>	4,194 ± 0,571 ^a	13,84 ± 1,64 ^a	145,70 ± 59,30 ^a	256 ± 42,16 ^a
Perbedaan (%)	1,9	3,6	6,6	2,2

Secara rata-rata, nilai skala hedonik dari uji organoleptik dari mentimun dengan perlakuan penyerbukan dengan *T. laeviceps* secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan penyerbukan terbuka (Tabel 2). Dari 4 kriteria pengukuran, hanya tingkat kesegaran saja yang tidak menunjukkan perbedaan berarti antara buah mentimun yang dihasilkan di dalam *greenhouse* dengan bantuan penyerbukan oleh *T. laeviceps*.

Tabel 2. Hasil uji organoleptik buah mentimun yang dihasilkan pada sistem penyerbukan terbuka dan aplikasi *Tetragonula laeviceps* pada sistem budi daya dalam *greenhouse* dibandingkan dengan budi daya terbuka

Parameter	<i>T. laeviceps</i>	Penyerbukan terbuka
Tekstur	3,80 ± 0,75 ^a	3,50 ± 0,80 ^b
Aroma	4,75 ± 0,89 ^a	3,30 ± 0,71 ^b
Rasa	3,80 ± 0,68 ^a	3,25 ± 0,69 ^b
Kesegaran	4,00 ± 0,45 ^a	3,50 ± 0,59 ^a

Keterangan: huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan data pada baris secara signifikan pada tingkat kepercayaan 0,05

Buah Tomat

Buah yang dihasilkan oleh tomat pada kelompok penyerbukan terbuka memiliki diameter, panjang, dan bobot yang secara signifikan paling tinggi dibandingkan dengan pada kelompok penyerbukan tertutup di dalam *greenhouse* (Tabel 3). Perbedaan tertinggi ditunjukkan pada bobot buah dimana terdapat buah yang dihasilkan pada sistem budi daya di luar *greenhouse*, dengan dibantu oleh *A. cerana* sebagai agen penyerbuk, memiliki berat 11% lebih baik.

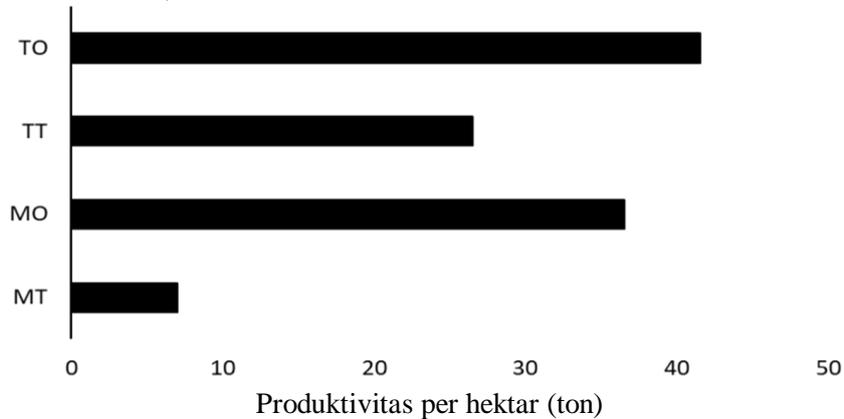
Tabel 3. Kualitas buah tomat yang dihasilkan pada sistem penyerbukan terbuka dan aplikasi *Tetragonula laeviceps* pada sistem budi daya dalam *greenhouse*

Perlakuan	Parameter buah		
	Diameter (mm)	Panjang (mm)	Bobot (g)
Penyerbukan terbuka	43,35 ± 2,98 ^a	47,38 ± 2,91 ^a	46,86 ± 9,85 ^a
<i>T. laeviceps</i>	38,52 ± 4,05 ^b	40,58 ± 5,85 ^b	37,54 ± 8,53 ^b
Perbedaan (%)	5,9	7,7	11

Keterangan: Huruf yang berbeda merupakan nilai yang signifikan berbeda ($P < 0,05$) menggunakan uji *Mann Whitney*

Estimasi Produktivitas

Mentimun maupun tomat yang mendapatkan akses terhadap serangga penyerbuk liar (penyerbukan terbuka) memiliki nilai estimasi produktivitas yang paling besar yaitu 36,5 ton/ha mentimun dan 41,5 ton/ha tomat (Gambar 4). Penelitian ini juga mendukung penelitian yang menunjukkan peran besar dari serangga-serangga liar sebagai agen penyerbuk tanaman produksi dan pangan (Potts et al., 2016).



Gambar 4. Nilai estimasi produktivitas mentimun dan tomat pada sistem terbuka dan *greenhouse* dengan aplikasi serangga penyerbuk. MT= mentimun + *Tetragonula laeviceps*, MO= mentimun + penyerbukan terbuka, TT= tomat + *Tetragonula laeviceps*, TO= tomat + penyerbukan terbuka

PEMBAHASAN

Aktivitas Serangga Penyerbuk

Pada penelitian ini terdapat perbedaan pada pola kunjungan, terutama puncak kunjungan, *A. cerana* dan *T. laeviceps* pada bunga tomat dan mentimun. Kedua lebah ini memanen nektar dan polen dari bunga sebagai sumber energi dan protein bagi koloni. Perbedaan pada ukuran koloni, waktu produksi nektar dan polen, serta kesesuaian siklus harian dengan bunga merupakan beberapa faktor yang menentukan pola dan puncak kunjungan dari kedua jenis lebah ini. Selain perbedaan pola kunjungan interspesies, perbedaan juga dapat terjadi pada level intraspesies (Gadhiya & Pastagia, 2019) yang mengindikasikan aplikasi dari lebah tidak bersengat sangat ditentukan oleh kondisi setempat dimana aplikasi dilakukan. Di sisi lain, puncak aktivitas dari *A. cerana* pada bunga mentimun relatif serupa dengan hasil penelitian di lokasi lain pada sistem pertanian terbuka (Anandhabhairavi et al., 2020) yang mengindikasikan bahwa perilaku dari lebah ini relatif tidak dipengaruhi oleh kondisi lingkungan setempat.

Perbedaan pada kesuksesan proses penyerbukan oleh agen penyerbuk (dalam hal ini *A. cerana* dan *T. laeviceps*) ditentukan oleh perbedaan pada *flower handling time* (Russo et al., 2017). Waktu yang dihabiskan pada bunga oleh lebah sangat ditentukan oleh beberapa faktor seperti (1) kebutuhan koloni (Schmickl & Crailsheim, 2004), (2) kesesuaian karakteristik tubuh (seperti ukuran tubuh) dengan karakteristik dari bunga (seperti bentuk bunga) (Kehrberger & Holzschuh, 2019; Naghiloo et al., 2021; Sargent & Ackerly, 2008), (3) kualitas dari sumber daya yang diberikan oleh bunga (Aronne et al., 2012; Vidal et al., 2006), dan (4) adanya persaingan dengan serangga penyerbuk lain dalam mendapatkan makanan (Faheem et al., 2004). Berdasarkan data penelitian maka dapat ditarik kesimpulan bahwa karakteristik dari bunga tomat dan *reward* yang ditawarkan lebih sesuai bagi *T. laeviceps* dibandingkan *A. cerana*. Hal ini menjadikan lebah ini berpotensi untuk diaplikasikan dalam membantu proses penyerbukan tomat pada sistem budi daya tertutup seperti *greenhouse*.

Efisiensi Penyerbukan

Penelitian ini menunjukkan bahwa *A. cerana* merupakan lebah yang sangat baik dalam menyerbuki mentimun sebagaimana dilaporkan oleh penelitian sebelumnya (Hossain et al., 2018). Di sisi lain, penyerbukan bunga tanaman mentimun dengan mengaplikasikan lebah *T. laeviceps* sebagai agen penyerbuk memiliki efisiensi yang sangat rendah yang bertentangan dengan beberapa penelitian sebelumnya (Kishan-Tej et al., 2017; Solange et al., 2008). Hal ini diduga disebabkan oleh faktor dari agen penyerbuk yang diaplikasikan pada penelitian ini, yaitu *T. laeviceps*. Ukuran tubuhnya yang kecil dan tidak bersengat menyebabkan dalam aplikasinya sebagai agen penyerbuk terdapat kekurangan, seperti jumlah polen yang dapat dibawa dan tingkat kunjungan yang singkat (Chole et al., 2019; Feuerbacher et al., 2003; Smith et al., 2019).

Buah tomat dengan penyerbukan terbuka menghasilkan efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan buah tomat yang berada di dalam *greenhouse*. Hal tersebut diperkirakan terjadi karena penyerbukan terbuka memungkinkan agen polinator selain lebah mengunjungi bunga tomat untuk melakukan *buzz pollination* sehingga meningkatkan peluang bunga untuk menghasilkan buah (Greenleaf & Kremen, 2006; Silva-Neto et al., 2013). Penelitian ini memberikan informasi tambahan tentang peran penting dari agen penyerbuk untuk meningkatkan produktivitas dari tanaman tomat sebagaimana telah dilaporkan pada beberapa penelitian terdahulu (Bashir et al., 2018; Deprá et al., 2013; Silva-Neto et al., 2013).

Kuantitas dan Kualitas Panen

Buah Mentimun

Penelitian ini menunjukkan potensi dari lebah tanpa sengat dalam meningkatkan kualitas dari mentimun sebagaimana dilaporkan penelitian sebelumnya pada mentimun dan kerabatnya dari kelompok *Cucurbitaceae* (Kishan-Tej et al., 2017; Putra et al., 2017). Di sisi lain, dari sudut pandang pasar, jumlah biji pada mentimun yang lebih tinggi pada mentimun dari sistem budi daya *greenhouse* meningkatkan berat mentimun dan ini memberikan keuntungan pada tingkat petani. Jumlah biji yang dihasilkan dari proses penyerbukan pada tanaman dengan famili *Cucurbitaceae* sangat ditentukan oleh jumlah serbuk sari yang diterima oleh putik (*pollen limited*) sehingga hubungan antara deposit serbuk sari oleh polinator spesifik dan kesuksesan penyerbukan dapat diukur secara langsung (Walters & Taylor, 2006). Hal ini juga dapat mengindikasikan bahwa *T. laeviceps* dapat berperan sebagai polinator yang baik bagi mentimun.

Pengujian organoleptik mendapatkan hasil bahwa nilai skala hedonik dari uji organoleptik dari mentimun pada perlakuan penyerbukan dengan *T. laeviceps* secara signifikan lebih tinggi (antara 3,8–4,75) dibandingkan dengan penyerbukan terbuka (3,25–3,5). Hal ini dapat terjadi karena perbedaan dari kandungan senyawa pada mentimun atau efek dari perlindungan tanaman mentimun dari pengaruh langsung perubahan lingkungan oleh struktur *greenhouse*. Hipotesis ini perlu diuji dengan penelitian lebih lanjut.

Buah Tomat

Buah yang dihasilkan oleh tomat pada kelompok penyerbukan terbuka memiliki diameter, panjang, dan bobot yang secara signifikan paling tinggi dibandingkan dengan kelompok penyerbukan tertutup di dalam *greenhouse*. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang menunjukkan efek positif dari model penyerbukan terbuka pada produktivitas tanaman tomat (Al-Abadi, 2010; Grace et al., 2017) dan menunjukkan bahwa aplikasi dari serangga penyerbuk yang tepat, atau bervariasi, sangat krusial pada sistem budi daya tomat. Pada tanaman tomat tidak dilakukan pengujian organoleptik karena sebagian besar tomat mengalami kerusakan akibat serangan hama dan penyakit yang merupakan tantangan terbesar dalam sistem budi daya di daerah tropis (Grace et al., 2017; Rao et al., 2000).

Estimasi Produktivitas

Penelitian ini menunjukkan bahwa akses pada berbagai agen penyerbuk (baik biotik maupun abiotik) yang bervariasi lebih baik dalam meningkatkan produktivitas dibandingkan hanya mengandalkan kepada satu jenis agen penyerbuk. Hasil ini mendukung penelitian yang

menunjukkan peran besar dari serangga-serangga liar sebagai agen penyerbuk tanaman produksi dan pangan (Potts et al., 2016).

SIMPULAN

Penyerbukan menggunakan polinator *T. laeviceps* tidak memberikan pengaruh positif, secara signifikan, terhadap produktivitas dan kualitas dari tomat serta mentimun yang ditanam bersamaan berdasarkan konsep tumpang sari. Namun terdapat peningkatan dari aspek organoleptik dari buah yang dihasilkan, terutama mentimun. Diperlukan penelitian lanjut terkait dengan efek dari jumlah koloni dan aplikasi jenis lebah tidak bersengat lain untuk mendapatkan informasi bagi optimalisasi aplikasi lebah tidak bersengat pada sistem pertanian tertutup seperti *greenhouse*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagian penelitian ini dibiayai dengan dana program Riset Inovasi ITB 2011, terkait sarana dan fasilitas, yang diterima oleh penulis korespondensi. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Yoyo K. selaku Ketua Kelompok Tani Mandiri Prima yang telah membantu keberjalanan penelitian selama di lapangan.

REFERENSI

- A'yunin, Q., Rauf, A., & Harahap, I. S. (2019). Foraging behaviour and pollination efficiency of *Heterotrigona itama* (Cockerell) and *Tetragonula laeviceps* (Smith) (Hymenoptera: Apidae) on Chayote. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 24(3), 247-257. doi: 10.18343/jipi.24.3.247.
- Adiyoga, W., Suherman, R., Gunadi, N., & Hidayat, A. (2004). Karakteristik teknis sistem pertanaman polikultur sayuran dataran tinggi. *Jurnal Hortikultura*, 14(4), 287-301. doi: 10.21082/jhort.v14n4.2004.p287-301.
- Al-Abbadi, S. Y. (2010). Open pollination efficiency on field-grown tomato compared with isolated under similar condition. *Sarhad Journal of Agriculture*, 26(3), 361-364.
- Anandhabhairavi, N., Ambethgar, V., & Philip, S. R. (2020). Foraging behavior of *Apis cerana indica* Fab. (Apidae Hymenoptera) on Cucumber. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(6), 189-192.
- Aronne, G., Giovanetti, M., Guarracino, M. R., & de Micco, V. (2012). Foraging rules of flower selection applied by colonies of *Apis mellifera*: Ranking and associations of floral sources. *Functional Ecology*, 26(5), 1186-1196. doi: 10.1111/j.1365-2435.2012.02017.x.
- Azmi, W. A., Samsuri, N., Hatta, M. F. M., Ghazi, R., & Seng, C. T. (2017). Effects of stingless bee (*Heterotrigona itama*) pollination on greenhouse cucumber (*Cucumis sativus*). *Malaysian Applied Biology*, 46(1), 51-55.
- Bashir, M. A., Alvi, A. M., Khan, K. A., Rehmani, M. I. A., Ansari, M. J., Atta, S., ... Tariq, M. (2018). Role of pollination in yield and physicochemical properties of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(7), 1291-1297. doi: 10.1016/j.sjbs.2017.10.006.
- Chole, H., Woodard, S. H., & Bloch, G. (2019). Body size variation in bees: regulation, mechanisms, and relationship to social organization. *Current Opinion in Insect Science*, 35, 77-87. doi: 10.1016/j.cois.2019.07.006.
- Deprá, M. S., Delaqua, G. G., Freitas, L., & Gaglianone, M. C. (2013). Pollination deficit in open-field tomato crops (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) in Rio de Janeiro state, Southeast Brazil. *Journal of Pollination Ecology*, 12(1), 1-8. doi: 10.26786/1920-7603(2014)7.
- Elisante, F., Ndakidemi, P., Arnold, S. E. J., Belmain, S. R., Gurr, G. M., Darbyshire, I., ... Stevenson, P. C. (2020). Insect pollination is important in a smallholder bean farming system. *PeerJ*, 8, 1-22. doi: 10.7717/peerj.10102.
- Eltz, T., Bruhl, C. A., Imiyabir, Z., & Linsenmair, K. E. (2003). Nesting and nest trees of stingless bees (Apidae: Meliponini) in lowland dipterocarp forests in Sabah, Malaysia, with implications for forest management. *Forest Ecology and Management*, 172, 301-313. doi: 10.1016/S0378-1127(01)00792-7.
- Faheem, M., Aslam, M., & Razaq, M. (2004). Pollination ecology with special reference to insects a

- review. *Journal of Research (Science)*, 4(1), 395-409.
- Feuerbacher, E., Fewell, J. H., Roberts, S. P., Smith, E. F., & Harrison, J. F. (2003). Effects of load type (pollen or nectar) and load mass on hovering metabolic rate and mechanical power output in the honey bee *Apis mellifera*. *Journal of Experimental Biology*, 206(11), 1855-1865. doi: 10.1242/jeb.00347.
- Gadhiya, V. C., & Pastagia, J. J. (2019). Foraging behavior of stingless bees, *Tetragonula laeviceps* Smith in net house condition. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7(6), 1005-1009.
- Garibaldi, L. A., Carvalheiro, L. G., Vaissière, B. E., Gemmill-herren, B., Hipólito, J., Freitas, B. M., ... Blochtein, B. (2016). Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*, 351(6271), 388-391. doi: 10.1126/science.aac7287.
- Grace, A., Jane, O., Jared, M., Christine, K., Dinah, M., Patricia, N., ... Kamunyu, K. (2017). Productivity of tomato in the greenhouse using bee pollination. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*, 3(6), 161. doi: 10.11648/j.ijaas.20170306.14.
- Greenleaf, S. S., & Kremen, C. (2006). Wild bee species increase tomato production and respond differently to surrounding land use in Northern California. *Biological Conservation*, 133(1), 81-87. doi: 10.1016/j.biocon.2006.05.025.
- Hossain, M., Yeasmin, F., Rahman, M., Akhtar, S., & Hasnat, M. (2018). Role of insect visits on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield. *Journal of Biodiversity Conservation and Bioresource Management*, 4(2), 81-88. doi: 10.3329/jbcbm.v4i2.39854.
- Hristov, P., Neov, B., Shumkova, R., & Palova, N. (2020). Significance of apoidea as main pollinators. ecological and economic impact and implications for human nutrition. *Diversity*, 12, 280. doi: 10.3390/d12070280.
- Kehrberger, S., & Holzschuh, A. (2019). How does timing of flowering affect competition for pollinators, flower visitation and seed set in an early spring grassland plant? *Scientific Reports*, 9(1), 1-9. doi: 10.1038/s41598-019-51916-0.
- Khalifa, S. A. M., Elshafiey, E. H., Shetaia, A. A., Abd El-Wahed, A. A., Algethami, A. F., Musharraf, S. G., ... El-Seedi, H. R. (2021). Overview of bee pollination and its economic value for crop production. *Insects*, 12, 688. doi: 10.3390/insects12080688.
- Kishan-Tej, M., Srinivasan, M. R., Rajashree, V., & Thakur, R. K. (2017). Stingless bee *Tetragonula iridipennis* Smith for pollination of greenhouse cucumber. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(4), 1729-1733.
- Klein, A. M., Steffan-Dewenter, I., & Tscharntke, T. (2003). Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 270(1518), 955-961. doi: 10.1098/rspb.2002.2306.
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313. doi: 10.1098/rspb.2006.3721.
- Naghiloo, S., Nikzat-Siahkolaee, S., & Esmailou, Z. (2021). Size-matching as an important driver of plant-pollinator interactions. *Plant Biology*, 23(4), 583-591. doi: 10.1111/plb.13248.
- Nunes-Silva, P., Hnrcir, M., Shipp, L., Imperatriz-fonseca, V. L., & Kevan, P. G. (2013). The behaviour of *Bombus impatiens* (Apidae, Bombini) on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill., Solanaceae) flowers: Pollination and reward perception. *Journal of Pollination Ecology*, 1(5), 33-40. doi: 10.26786/1920-7603(2013)3.
- Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., ... Vanbergen, A. J. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540(7632), 220-229. doi: 10.1038/nature20588.
- Putra, R. E., & Kinasih, I. (2014). Efficiency of local Indonesia honeybees (*Apis cerana* L.) and stingless bees (*Trigona iridipennis*) on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) pollination. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 17(1), 86-91. doi: 10.3923/pjbs.2014.86.91.
- Putra, R. E., Permana, A. D., & Kinasih, I. (2014). Application of Asiatic honey bees (*Apis cerana*) and stingless bees (*Trigona laeviceps*) as pollinator agents of hot pepper (*Capsicum annuum*

- L.) at local Indonesia farm system. *Psyche*, 2014, 1-5. doi: 10.1155/2014/687979.
- Putra, R. E., Subagio, J., Kinasih, I., Permana, A. D., & Rosmiati, M. (2017). Pola kunjungan serangga liar dan efek penambahan koloni *Trigona* (Tetragonula) *laeviceps* Smith pada penyerbukan kabocha (*Cucurbita maxima*). *Jurnal Entomologi Indonesia*, 14(2), 69-79. doi: 10.5994/jei.14.2.69.
- Rao, M. R., Singh, M. P., & Day, R. (2000). Insect pest problems in tropical agroforestry systems: Contributory factors and strategies for management. *Agroforestry Systems*, 50(3), 243-277. doi: 10.1023/A:1006421701772.
- Russo, L., Park, M. G., Blitzer, E. J., & Danforth, B. N. (2017). Flower handling behavior and abundance determine the relative contribution of pollinators to seed set in apple orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 246, 102-108. doi: 10.1016/j.agee.2017.05.033.
- dos-Santos, S. A. B., Roselino, A. C., & Bego, L. R. (2008). Pollination of cucumber, *Cucumis sativus* L. (Cucurbitales: Cucurbitaceae), by the stingless bees *Scaptotrigona aff. depilis* Moure and *Nannotrigona testaceicornis* Lepeletier (Hymenoptera: Meliponini) in greenhouse. *Neotropical Entomology*, 37(5), 506-512.
- Sargent, R. D., & Ackerly, D. D. (2008). Plant-pollinator interactions and the assembly of plant communities. *Trends in Ecology and Evolution*, 23(3), 123-130. doi: 10.1016/j.tree.2007.11.003.
- Schmickl, T., & Crailsheim, K. (2004). Inner nest homeostasis in a changing environment with special emphasis on honey bee brood nursing and pollen supply. *Apidologie*, 35, 249-263. doi: 10.1051/apido.
- Schultz, B., Phillips, C., Rosset, P., & Vandermeer, J. (1982). An experiment in intercropping cucumbers and tomatoes in Southern Michigan, U.S.A. *Scientia Horticulturae*, 18(1), 1-8. doi: 10.1016/0304-4238(82)90096-6.
- Silva-Neto, C. M., Lima, F. G., Gonçalves, B. B., Bergamini, L. L., Bergamini, B. A. R., Elias, M. A., & Franceschinelli, E. V. (2013). Native bees pollinate tomato flowers and increase fruit production. *Journal of Pollination Ecology*, 11(February 2016), 41-45. doi: 10.26786/1920-7603(2013)4.
- Smith, C., Weinman, L., Gibbs, J., & Winfree, R. (2019). Specialist foragers in forest bee communities are small, social or emerge early. *Journal of Animal Ecology*, 88(8), 1158-1167. doi: 10.1111/1365-2656.13003.
- Solange, A. B. S., Ana, C. R., & Luci, R. B. (2008). Pollination of cucumber, *Cucumis sativus* L. (Cucurbitales: Cucurbitaceae), by the stingless bees *Scaptotrigona aff. depilis* Moure and *Nannotrigona testaceicornis* Lepeletier (Hymenoptera: Meliponini) in greenhouses. *Neotropical Entomology*, 37(5), 506-512. doi: 10.1590/S1519-566X2008000500002.
- Vidal, M. D. G., De Jong, D., Wien, H. C., & Morse, R. A. (2006). Nectar and pollen production in pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Revista Brasileira de Botanica*, 29(2), 267-273. doi: 10.1590/S0100-84042006000200008.
- Walters, S. A., & Taylor, B. H. (2006). Effects of honey bee pollination on pumpkin fruit and seed yield. *HortScience*, 41(2), 370-373. doi: 10.21273/hortsci.41.2.370.
- Wulandari, A. P., Atmowidi, T., & Kahono, D. S. (2017). Peranan lebah *Trigona laeviceps* (Hymenoptera: Apidae) dalam produksi biji kailan (*Brassica oleracea* var. alboglabra). *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 45(2), 196. doi: 10.24831/jai.v45i2.13236.