



Original Article

Model produksi massal parasitoid *Anagyrus lopezi* (De Santis) (Hymenoptera: Encyrtidae) menggunakan kutu putih *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero di laboratorium

Mass production model of the parasitoid *Anagyrus lopezi* (De Santis) (Hymenoptera: Encyrtidae) using the mealybug *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero in the laboratory

Muhammad Alimun Wasik^{1*}, Dewi Sartiami², Ali Nurmansyah²

¹Program Studi Pengendalian Hama Terpadu, Fakultas Pertanian, IPB University, Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia, ²Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University, Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

Penulis korespondensi:

Muhammad Alimun Wasik
(muhammadwasik2727@gmail.com)

Diterima: April 2025

Disetujui: Juli 2025

Sitasi:

Wasik MA, Sartiami D, Nurmansyah A. 2025. Produksi massal parasitoid *Anagyrus lopezi* (De Santis) (Hymenoptera: Encyrtidae) menggunakan kutu putih *Phenacoccus manihoti* di laboratorium. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 22(2):114–125

ABSTRAK

Anagyrus lopezi (De Santis) (Hymenoptera: Encyrtidae) merupakan parasitoid spesifik yang berperan penting dalam pengendalian hayati hama kutu putih ubi kayu *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero (Hemiptera: Pseudococcidae). Keberhasilan pengendalian hayati dalam skala luas memerlukan ketersediaan parasitoid ini dalam jumlah yang banyak melalui produksi massal secara optimal dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model produksi massal *A. lopezi* dengan memperhatikan metode *mass rearing* (pengembang biakan massal) serta aspek ekonomi dari produksi massal tersebut. Pengembangan biakan massal dilakukan menggunakan empat perlakuan, yaitu 3, 6, 9, dan 12 stek ubi kayu varietas Manggu berumur 2 minggu per kurungan berukuran 75 cm × 50 cm × 50 cm. Setiap stek diinfestasi dengan 120 nimfa instar ketiga *P. manihoti* dan empat imago betina *A. lopezi* berumur 2 hari dari hasil pemeliharaan di laboratorium. Peningkatan jumlah stek memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah mumi yang dihasilkan, dengan produksi tertinggi pada perlakuan 9 stek sebanyak $742,2 \pm 12,21$ mumi kutu putih. Nisbah kelamin keturunan parasitoid (1:2,21) didominasi oleh individu betina sebesar 68,91%. Estimasi biaya dihitung berdasarkan komponen alat, bahan, dan upah tenaga kerja. Total biaya produksi parasitoid per kurungan adalah Rp48.425,-, dengan biaya per mumi sebesar Rp65,. Temuan ini menjadi dasar teknis dan ekonomi bagi pengembangan sistem produksi parasitoid *A. lopezi* yang efisien dan berkelanjutan dalam mendukung program pengendalian hayati *P. manihoti* pada pertanaman ubi kayu.

Kata kunci: estimasi biaya, mumi, musuh alami, pengendalian hayati, ubi kayu

ABSTRACT

Anagyrus lopezi (De Santis) (Hymenoptera: Encyrtidae) is a specific parasitoid that plays an important role in the biological control of the cassava mealybug *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero (Hemiptera: Pseudococcidae). Successful large-scale biological control requires the availability of this parasitoid in sufficient quantities through optimal and efficient mass production. This study aims to develop a mass production model for *A. lopezi*, taking into account mass rearing methods and the economic aspects of mass production. The experiment consisted of four treatments, namely 3, 6, 9, and 12 cassava cuttings of Manggu variety aged 2 weeks per cage measuring 75 cm × 50 cm × 50 cm. Each cutting was infested with 120 third-instar *P. manihoti* nymphs and four 2-day-old female *A. lopezi* obtained from laboratory rearing. Increasing the number of cuttings had a significant effect on the number of mummies produced, with the highest production achieved in the 9-cutting treatment (742.2 ± 12.21 mealybug mummies). The sex ratio of parasitoid progeny (1:2.21) was dominated by females, accounting for 68.91%. The production cost estimation included tools, materials, and

labor wages. The total production cost per cage was IDR 48,425, with a cost per mummy of IDR 65. These findings provide technical and economic foundations for developing efficient and sustainable mass production systems of *A. lopezi* to support *P. manihoti* biological control programs in cassava plantations.

Key words: biological control, cassava, cost estimation, mummy, natural enemy

PENDAHULUAN

Kutu putih *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero (Hemiptera: Pseudococcidae) merupakan hama utama pada pertanaman ubi kayu di berbagai negara, termasuk Indonesia (Williams & Granara de Willink 1992; Parsa et al. 2012). Hama invasif ini dapat mengancam ketahanan pangan (Yonow et al. 2017). Di Indonesia, *P. manihoti* dilaporkan sebagai spesies kutu putih paling dominan dan merusak pada pertanaman ubi kayu (Fanani et al. 2019; Wardani et al. 2019). Gejala serangan ditandai dengan terbentuknya lapisan lilin putih, daun muda mengeriting, pucuk tanaman mengalami pengerdilan yang dikenal sebagai gejala *bunchy top* (Sartiami et al. 2015; Fanani et al. 2019). Serangan *P. manihoti* dilaporkan menyebabkan kehilangan hasil sekitar 40-50% di Indonesia (Wardani 2015).

Strategi pengendalian yang telah dilaporkan berhasil untuk mengendalikan kutu putih *P. manihoti* adalah pengendalian hayati menggunakan parasitoid *Anagyrus lopezi* De Santis (Hymenoptera: Encyrtidae) (James et al. 2000; Thancharoen et al. 2018). *A. lopezi* merupakan parasitoid spesifik yang diintroduksi ke berbagai negara untuk mengendalikan *P. manihoti*. Parasitoid ini pertama kali diintroduksi ke Indonesia tahun 2014 di Bogor (Wyckhuys et al. 2014). Implementasi pengendalian hayati secara luas membutuhkan ketersediaan musuh alami dalam jumlah banyak. Produksi massal ditujukan untuk menghasilkan dan menyediakan musuh alami dalam jumlah besar supaya membantu petani lebih mudah memperoleh dan mengaplikasikan parasitoid tersebut untuk pengendalian kutu putih (Vieira et al. 2017; Wang et al. 2019). Berdasarkan hal tersebut, maka produksi massal *A. lopezi* perlu dioptimalkan guna memenuhi permintaan yang besar dalam program pengendalian hayati *P. manihoti*.

Salah satu aspek penting dalam optimalisasi produksi massal parasitoid adalah penggunaan jumlah tanaman inang yang tepat, dalam hal ini stek ubi kayu sebagai tanaman inang bagi *P. manihoti*. Jumlah tanaman inang yang digunakan dalam setiap kurungan serangga akan memengaruhi kepadatan inang dan parasitoid sehingga mampu menyebabkan terjadinya kompetisi antar parasitoid dan menurunkan tingkat parasitisasi serta efisiensi produksi (Wang et al. 2019; Fanani et al. 2020; Chen et al. 2021). Dengan

demikian, diperlukan pengujian jumlah stek ubi kayu yang optimal per kurungan sebagai bagian dari strategi peningkatan efisiensi produksi massal *A. lopezi*. Selain itu, pertimbangan ekonomi merupakan aspek penting dalam keberlanjutan dan pengembangan skala produksi massal parasitoid (van Lenteren 2012; Dutra et al. 2023). Namun, saat ini belum terdapat kajian secara khusus yang membahas aspek ekonomi biaya produksi massal *A. lopezi*. Studi ini sangat diperlukan sebagai dasar penentuan harga satuan parasitoid serta perencanaan distribusi dan implementasi pengendalian hayati yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan terkait aspek biologi dan ekologi *A. lopezi*, seperti mengenai kekhususan inangnya (Karyani et al. 2016), laju enkapsulasi pada *P. manihoti* (Adriani et al. 2016), masa hidup imago dan kemampuan parasitisasi (Maharani et al. 2019), distribusi geografis di Indonesia (Fanani et al. 2019), pengaruh kepadatan inang dan parasitoid terhadap parasitisasi (Fanani et al. 2020), serta ukuran mumi dan waktu kemunculan imago (Naimah et al. 2023). Namun, hingga saat ini belum ada penelitian yang mengkaji aspek teknis produksi, seperti penentuan jumlah stek ubi kayu optimal per kurungan, dan penghitungan estimasi biaya produksi massal *A. lopezi*. Dengan mempertimbangkan pentingnya pengendalian *P. manihoti* secara efektif dan berkelanjutan, studi ini bertujuan untuk mengembangkan model produksi massal *A. lopezi* dengan memperhatikan metode *mass rearing* (pengembang biakan massal) serta aspek ekonomi dari produksi massal tersebut. Studi ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan teknik produksi parasitoid *A. lopezi* yang efisien, aplikatif, dan berkelanjutan dalam mendukung pengendalian hayati *P. manihoti* pada pertanaman ubi kayu.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Biosistematika Serangga, Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Kondisi laboratorium selama penelitian memiliki suhu ruangan 27–30 °C dan kelembaban relatif 65–70%. Kegiatan penelitian berlangsung dari Juli hingga Desember 2024.

Penyiapan tanaman inang

Tanaman inang yang digunakan untuk pembiakkan kutu putih *P. manihoti* adalah tanaman ubi kayu dengan varietas Manggu. Metode perbanyak daun ubi kayu sebagai pakan kutu putih menggunakan metode dari Adriani et al. (2020). Stek ubi kayu dengan panjang sekitar 20 cm ditempatkan pada wadah gelas plastik (ukuran 15 cm × 9,5 cm) dan bagian atas gelas plastik ditutup dengan menggunakan styrofoam yang telah dilubangi bagian tengahnya dengan tujuan agar stek ubi kayu tegak dan menghindari tumpahnya media tumbuh tanaman, kemudian ditambahkan 200 ml air yang dicampur pupuk cair dengan konsentrasi 5 ml/l. Stek ubi kayu diletakkan pada tempat yang terkena cukup sinar matahari dan dibiarkan tumbuh selama 2 minggu hingga tumbuh daun baru sekitar delapan sampai sepuluh helai daun.

Penyediaan kutu putih dan parasitoid

Kutu putih *P. manihoti* dan parasitoid *A. lopezi* dikoleksi dari pertanaman ubi kayu yang berada di Kecamatan Sukaraja, Kabupaten Bogor, Jawa Barat, kemudian dipelihara dan diperbanyak di Laboratorium Biosistemika Serangga. Perbanyak populasi kutu putih mengikuti metode perbanyak dari Adriani et al. (2020) dengan modifikasi pada varietas ubi kayu yang digunakan, media pemeliharaan berupa campuran air dan pupuk cair, serta tahap infestasi awal menggunakan ovisak atau kantung telur *P. manihoti*. Tahapan perbanyak kutu putih dimulai dengan ovisak kutu putih yang berisi telur diinfestasikan pada stek ubi kayu, kemudian stek dimasukkan ke dalam kurungan serangga berukuran 75 cm × 50 cm × 50 cm, dinding kurungan terbuat dari plastik dan kain organdi. Telur-telur kutu putih tersebut dipelihara hingga menetas, dan kemudian sekitar dua minggu setelah infestasi, kutu putih mencapai tahap nimfa instar ke-3 dan siap dimanfaatkan sebagai inang untuk pembiakan parasitoid *A. lopezi* (Gambar 1).

Metode pembiakan parasitoid menggunakan prosedur dari Adriani et al. (2020) dan Fanani et al. (2020) dengan modifikasi pada tahap awal, yaitu mengkopulasikan terlebih dahulu imago jantan dan betina sebelum dilepaskan ke dalam kurungan yang berisi inang. Imago jantan dan betina yang diperoleh dari lahan ditempatkan dalam tabung reaksi berukuran 10 cm × 1,3 cm dan ditutup dengan kain organdi selama 24 jam agar terjadi proses kopulasi. Setelah itu, imago betina dilepaskan ke kurungan serangga yang telah diletakkan stek ubi kayu yang terinfestasi nimfa kutu putih instar ke-3. Bagian dalam atap kurungan serangga diberi gantungan kapas yang dibasahi larutan madu

10% sebagai sumber pakan bagi parasitoid. Setelah 14 hari, mumi mulai terbentuk pada stek dan selanjutnya dilakukan pengumpulan mumi kutu putih. Mumi akan digunakan untuk melanjutkan siklus pemeliharaan dalam produksi massal (Gambar 1).

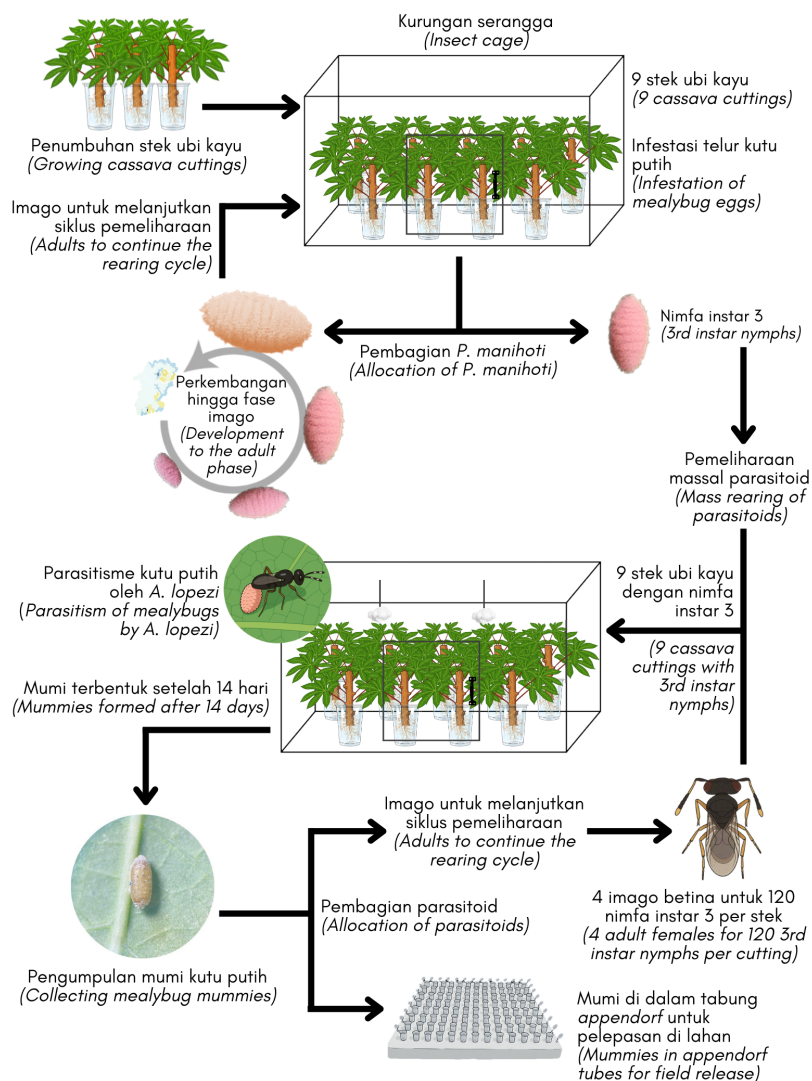
Produksi massal parasitoid *A. lopezi*

Pengujian optimalisasi jumlah stek ubi kayu untuk produksi massal parasitoid. Pengujian dilakukan untuk menentukan jumlah stek ubi kayu yang optimal dalam produksi massal parasitoid *A. lopezi*. Percobaan terdiri atas empat perlakuan, yaitu penggunaan 3, 6, 9, dan 12 stek ubi kayu per kurungan. Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap (RAL) dengan lima ulangan pada setiap perlakuan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kurungan serangga berukuran 75 cm × 50 cm × 50 cm. Setiap stek ubi kayu diinfestasikan 120 nimfa kutu putih *P. manihoti* instar ke-3 dan empat imago betina parasitoid *A. lopezi*. Komposisi kepadatan inang dan parasitoid tersebut mengacu pada hasil penelitian Naimah et al. (2023). Dengan demikian, jumlah total inang dan parasitoid dalam setiap perlakuan berturut-turut adalah 360 nimfa dan 12 imago betina pada perlakuan 3 stek per kurungan, 720 nimfa dan 24 imago betina pada perlakuan 6 stek per kurungan, 1080 nimfa dan 36 imago betina pada perlakuan 9 stek per kurungan, serta 1440 nimfa dan 48 imago betina pada perlakuan 12 stek per kurungan. Pengamatan dilakukan satu kali pada hari ke-14 setelah infestasi imago betina *A. lopezi* ke dalam kurungan, yaitu saat tanaman ubi kayu mulai layu dan kering. Jumlah mumi kutu putih yang terbentuk pada setiap kurungan dihitung sebagai indikator keberhasilan parasitisasi dan efisiensi produksi parasitoid. Mumi yang terbentuk segera dipisahkan dari kurungan untuk mencegah kemunculan imago di dalam kurungan, kemudian digunakan untuk melanjutkan siklus pemeliharaan dalam produksi massal.

Penentuan nisbah kelamin keturunan parasitoid.

Penentuan nisbah kelamin keturunan parasitoid dilakukan dengan mengamati mumi kutu putih yang diperoleh dari hasil perbanyak di laboratorium. Setiap mumi dikumpulkan dan dimasukkan ke dalam tabung eppendorf. Imago jantan dan betina parasitoid yang muncul diamati. Nisbah kelamin ditentukan melalui perbandingan antara imago betina dan seluruh imago yang dihasilkan, kemudian dinyatakan dalam persentase.

Biaya produksi massal parasitoid *A. lopezi*. Estimasi biaya produksi dihitung mengikuti metode Meilin et al. (2012) untuk memperoleh harga satuan per individu



Gambar 1. Skema produksi massal *Anagyrus lopezi* di laboratorium
Figure 1. Schematic of *Anagyrus lopezi* mass production in the laboratory

parasitoid. Penghitungan mencakup seluruh penggunaan komponen alat dan bahan, serta biaya upah tenaga kerja perbanyak di laboratorium. Komponen alat dan bahan yang dihitung meliputi kurungan serangga, stek ubi kayu, pupuk cair, gelas plastik, styrofoam, kapas, benang wol, dan madu. Biaya bahan ditentukan berdasarkan harga aktual pembelian, sedangkan biaya upah tenaga kerja dihitung dengan mengacu pada Peraturan Menteri Keuangan RI No. 49 Tahun 2023 tentang Standar Biaya Masukan Tahun Anggaran 2024 yang disetarakan biaya upah pembantu peneliti sebesar Rp25.000,- per jam.

Analisis data

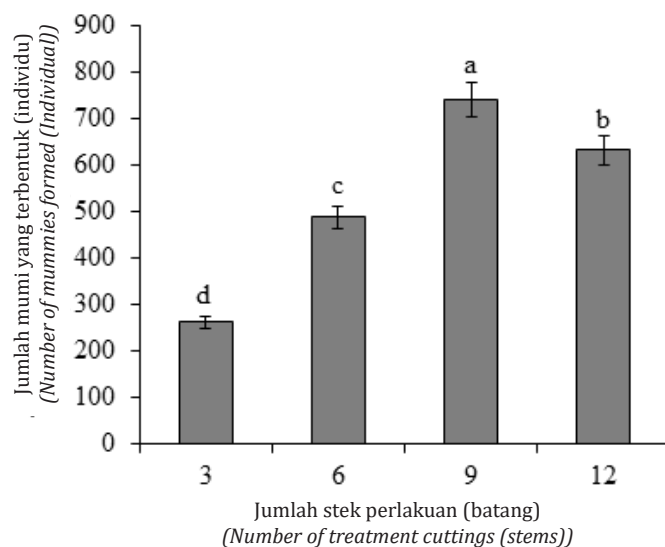
Data jumlah mumi kutu putih, nisbah kelamin keturunan parasitoid, dan estimasi biaya produksi massal parasitoid ditabulasi dalam tabel dan diolah dengan menggunakan MS. Excel. Data dari pengujian jumlah stek ubi kayu per kurungan dianalisis dengan sidik ragam (ANOVA) untuk melihat pengaruh jumlah

stek terhadap jumlah mumi kutu putih yang dihasilkan. Uji lanjutan untuk memeriksa perbedaan pengaruh di antara perlakuan dilakukan dengan uji Tukey pada taraf nyata 5%. Seluruh analisis data dilakukan dengan menggunakan aplikasi R Studio.

HASIL

Produksi parasitoid berdasarkan jumlah stek ubi kayu

Peningkatan jumlah stek ubi kayu per kurungan memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah mumi kutu putih yang dihasilkan ($F = 1991,23$; $df = 3, 15$; $P < 0,001$), dan terdapat perbedaan yang signifikan antar perlakuan (Gambar 2). Mumi kutu putih yang telah terparasit *A. lopezi* ditandai dengan perubahan morfologi seperti tubuh yang mengeras dan berwarna cokelat tua. Jumlah mumi tertinggi diperoleh pada perlakuan dengan 9 stek ubi kayu per kurungan, yaitu sebanyak $742,2 \pm 12,21$ mumi. Namun, peningkatan



Gambar 2. Jumlah mumi kutu putih yang terbentuk dari pengujian jumlah stek ubi kayu per kurungan. Perbedaan secara nyata antar perlakuan ditunjukkan oleh bar dengan huruf yang berbeda (Uji Tukey $\alpha = 5\%$).

Figure 2. The number of mealybug mummies formed from testing the cassava cuttings per cage. Significant differences between treatments are indicated by bars with different letters (Tukey test, $\alpha = 5\%$).

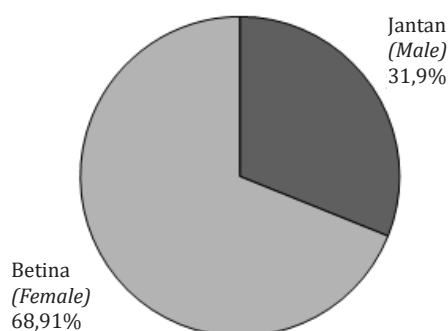
jumlah stek hingga 12 stek ubi kayu per kurungan justru menyebabkan penurunan jumlah mumi kutu putih yang terbentuk, yaitu sebanyak $632,4 \pm 13,43$ mumi. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat titik optimal dalam penggunaan jumlah stek ubi kayu untuk produksi massal parasitoid *A. lopezi*. Perlakuan dengan 9 stek ubi kayu per kurungan menghasilkan jumlah mumi tertinggi sehingga dipilih sebagai perlakuan optimal untuk kegiatan produksi massal parasitoid di laboratorium.

Nisbah kelamin keturunan parasitoid yang terbentuk di laboratorium

Hasil percobaan menunjukkan bahwa nisbah kelamin keturunan parasitoid *A. lopezi* yang dihasilkan dari produksi massal di laboratorium didominasi oleh parasitoid betina, dengan rerata sebesar 68,91% betina atau setara dengan rasio jantan dan betina sebesar 1:2,21 (Gambar 3). Proporsi betina yang tinggi ini sangat menguntungkan karena betina berperan langsung dalam parasitisasi dan produksi generasi berikutnya sehingga mendukung efisiensi dan keberlanjutan produksi massal parasitoid.

Biaya produksi massal parasitoid *A. lopezi*

Kegiatan produksi massal parasitoid *A. lopezi* membutuhkan waktu total selama 60 menit per kurungan. Waktu tersebut terbagi menjadi 18 menit untuk perbanyakan dan pemeliharaan inang, yang meliputi persiapan media tanam berupa campuran air dan pupuk cair selama 2 menit, pemberian media tanam ke dalam wadah gelas plastik selama 2 menit, memasukkan stek ubi kayu ke dalam wadah gelas



Gambar 3. Nisbah kelamin keturunan *Anagyrus lopezi* dari hasil perbanyakan massal di laboratorium.

Figure 3. Sex ratio of *Anagyrus lopezi* offspring from mass rearing in the laboratory.

plastik selama 2 menit, pemeliharaan stek dengan penambahan air selama 2 menit, dan infestasi ovisak kutu putih selama 10 menit. Waktu untuk perbanyakan dan pemeliharaan parasitoid adalah 42 menit, terdiri atas proses kopulasi imago parasitoid jantan dan betina selama 10 menit, infestasi imago parasitoid ke dalam kurungan selama 1 menit, pemberian pakan berupa larutan madu selama 1 menit, dan panen parasitoid selama 30 menit dengan mengumpulkan mumi kutu putih yang terbentuk pada stek ubi kayu. Jumlah stek ubi kayu yang digunakan dalam satu kurungan adalah 9 stek, dengan produksi parasitoid sebanyak $742 \pm 12,21$ mumi kutu putih. Setelah memperhitungkan penyusutan alat, total biaya yang dibutuhkan untuk memproduksi 742 mumi parasitoid *A. lopezi* dari satu kurungan adalah sebesar Rp48.425,- atau sekitar Rp65,- per mumi (Tabel 1).

Tabel 1. Estimasi biaya perbanyakan massal *A. lopezi* per kurungan
 Table 1. Estimated cost of mass rearing of *A. lopezi* per cage

Komponen biaya (Cost component)	Biaya per generasi (Rp) (Cost per generation (IDR))
Stek ubi kayu dalam satu kurungan (9 stek) (Cassava cuttings in one cage (9 cuttings))	9.000
Pupuk cair (Liquid fertilizer)	6.600
Biaya penyusutan* (Depreciation cost*)	
Kurungan serangga (Insect cage)	3.750
Gelas plastik (Plastic cup)	1.125
Styrofoam (Styrofoam)	900
Kapas (Cotton)	100
Benang wol (Wool yarn)	200
Madu (Honey)	1.750
Upah tenaga kerja (total waktu 60 menit untuk perbanyakan massal) Labor wages (total time 60 minutes for mass rearing)	25.000
Total biaya (Total cost)	48.425
Biaya produksi satu mumi parasitoid (Rp48.425,-/742 mumi) (Production cost of one parasitoid mummy (IDR48,425/742 mummies))	65

*Keterangan:

Harga satu kurungan adalah Rp150.000,- serta dapat digunakan kembali hingga 40 generasi.

Harga gelas plastik adalah Rp4.500,- serta dapat digunakan kembali hingga 2 generasi.

Harga styrofoam adalah Rp3.600,- serta dapat digunakan kembali hingga 2 generasi.

Harga kapas adalah Rp400,- serta dapat digunakan kembali hingga 2 generasi.

Harga benang wol adalah Rp200,- serta dapat digunakan kembali hingga 2 generasi.

*Description:

The price of one cage is IDR150,000 and can be reused for up to 40 generations.

The price of a plastic cup is IDR4,500 and can be reused for up to 2 generations.

The price of styrofoam is IDR3,600 and can be reused for up to 2 generations.

The price of cotton is IDR400 and can be reused for up to 2 generations.

The price of wool yarn is IDR200 and can be reused for up to 2 generations.

PEMBAHASAN

Rataan produksi parasitoid dengan menggunakan 12 stek ubi kayu per kurungan menghasilkan 632,4 ± 13,43 mumi kutu putih. Jumlah ini lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan 9 stek ubi kayu per kurungan. Penggunaan stek ubi kayu yang lebih banyak akan meningkatkan penggunaan jumlah imago parasitoid yang dilepaskan ke dalam kurungan sehingga menciptakan kondisi lingkungan pada kurungan terlalu padat dan mampu menimbulkan kompetisi antar parasitoid. Kompetisi intraspesifik terjadi ketika kepadatan individu parasitoid dari spesies yang sama meningkat sehingga memicu gangguan perilaku pencarian inang dan mengurangi waktu efektif untuk oviposisi, yang pada akhirnya menurunkan efisiensi parasitisasi (Skovgard & Nachman 2015; Yang et al. 2015; Yazdani & Keller 2015; Zhang et al. 2021). Studi oleh Iranipour et al. (2020) menunjukkan bahwa peningkatan kepadatan parasitoid *Trissolcus vassilievi* (Mayr) (Hymenoptera: Platygasteridae) menyebabkan penurunan kemampuan pencarian inang. Kompetisi intraspesifik antar parasitoid tersebut dapat mengurangi dan menurunkan tingkat parasitisasi oleh

parasitoid (Skovgard & Nachman 2015; Eliopoulos et al. 2016; Poncio et al. 2016; Nakamichi et al. 2020). Kompetisi ini dapat membatasi peluang setiap betina untuk meletakkan telur secara optimal sehingga menurunkan efisiensi parasitisasi. Sagarra et al. (2000) melaporkan bahwa jumlah telur per betina yang diletakkan oleh parasitoid *Anagyrus kamali* Moursi mengalami penurunan dengan meningkatnya kepadatan parasitoid. Pada saat kepadatan parasitoid meningkat dalam kurungan pemeliharaan yang sama, parasitoid betina cenderung menghabiskan lebih banyak waktu untuk berinteraksi secara spesifik antar betina dari spesies yang sama dibandingkan dengan proses mencari inangnya (Couchoux & van Nouhuys 2014; Saini & Sharma 2018). Akibat dari kondisi tersebut, aktivitas parasitisasi menurun sehingga berdampak pada berkurangnya jumlah mumi kutu putih yang terbentuk. Penurunan jumlah kutu putih yang terparasit tersebut menunjukkan adanya respons saling mengganggu dan kompetisi antar parasitoid dalam kurungan pemeliharaan yang sama dan terbatas (Feng et al. 2014; Lin et al. 2018). Selain itu, kepadatan parasitoid betina juga diketahui dapat memengaruhi

waktu parasitisasi dan durasi perkembangan keturunan seperti yang dilaporkan pada parasitoid *Sclerodermus pupariae* Yang et Yao (Hymenoptera: Bethyridae) (Gao et al. 2016). Berdasarkan beberapa hasil studi sebelumnya, kepadatan parasitoid yang terlalu tinggi sebaiknya perlu dihindari dalam melaksanakan kegiatan produksi massal parasitoid dengan tujuan agar efisiensi produksi terutama dalam memperoleh lebih banyak keturunan parasitoid betina (Luo et al. 2014; Lopez et al. 2021). Kompetisi intraspesifik antar parasitoid lebih sering terjadi dalam kondisi laboratorium karena adanya keterbatasan ruang sehingga frekuensi pertemuan antar parasitoid betina relatif tinggi (Fanani et al. 2020).

Selain disebabkan oleh kepadatan parasitoid, tingkat parasitisasi dan keberhasilan reproduksi parasitoid juga dipengaruhi oleh kepadatan inang. Kepadatan inang yang optimal dapat meningkatkan tingkat parasitisasi, jumlah keturunan, dan proporsi keturunan betina sehingga mampu meningkatkan efisiensi produksi (Warsi et al. 2023; de Pedro et al. 2017). Beberapa studi menunjukkan bahwa peningkatan kepadatan inang dapat memperbesar peluang interaksi parasitoid dengan inang sehingga meningkatkan jumlah oviposisi (Sagarra et al. 2000; Okuyama 2024). Namun, kepadatan inang yang terlalu tinggi dapat menurunkan kualitas inang akibat kompetisi nutrisi dan ruang antar inang, yang berpengaruh pada penurunan keberhasilan perkembangan parasitoid (Wang et al. 2020; Perier et al. 2023; Warsi et al. 2023). Dalam percobaan ini, jumlah kepadatan inang telah disesuaikan dan diseragamkan, yaitu sebanyak 120 nimfa instar ke-3 kutu putih *P. manihoti* setiap stek ubi kayu. Penyesuaian ini merujuk pada hasil penelitian Naimah et al. (2023) yang menguji berbagai kepadatan inang dan menemukan bahwa parasitisasi *A. lopezi* tertinggi terjadi pada kepadatan 120 inang dengan tingkat parasitisasi mencapai 66,6%. Hasil studi Fanani et al. (2020) melaporkan bahwa parasitoid *A. lopezi* menunjukkan respons fungsional tipe II, yang berarti bahwa peningkatan kepadatan inang dapat menurunkan proporsi *P. manihoti* yang terparasit. Kepadatan inang yang semakin tinggi mampu menciptakan distribusi koloni kutu putih yang tidak merata. Rebu & Rauf (2018) melaporkan bahwa tingkat parasitisasi dapat dipengaruhi oleh individu kutu putih dalam satu koloni yang saling bertumpuk satu sama lain pada bagian bawah daun ubi kayu, dengan rata-rata terdapat 38,67–48,55 kutu putih pada setiap pucuk tanaman. Penumpukan koloni kutu putih tersebut dapat menurunkan keefektifan parasitisasi oleh parasitoid. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Liu et al. (2022) yang menyatakan bahwa parasitoid dalam mencari inang akan mengalami kesulitan

untuk mencapai inang yang tertumpuk di bagian bawah koloni. Oleh karena itu, diperlukan adanya keseimbangan antara kepadatan inang dan parasitoid, penggunaan jumlah stek singkong, serta ketersediaan ruang dalam kurungan untuk mengoptimalkan produksi massal parasitoid. Penggunaan 9 stek ubi kayu per kurungan terbukti memberikan hasil paling optimal dalam produksi mumi kutu putih. Hal ini ditunjukkan dari banyaknya kutu putih yang terparasit hingga membentuk mumi. Perkembangan dan reproduksi parasitoid dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, ketersediaan inang, serta tingkat kompetisi antar individu parasitoid dalam satu area (Joodaki et al. 2018). Dengan demikian, penggunaan 9 stek ubi kayu per kurungan dapat menciptakan kondisi lingkungan yang lebih optimal untuk proses reproduksi parasitoid sehingga meningkatkan efisiensi produksi mumi kutu putih. Hasil studi ini dapat dijadikan rekomendasi dalam program produksi massal parasitoid *A. lopezi* pada kurungan dengan ukuran yang sama.

Selain mempertimbangkan kepadatan inang sebagai faktor penting dalam keberhasilan parasitisasi dan reproduksi parasitoid, pemilihan jenis tanaman inang juga perlu diperhatikan dalam sistem produksi massal di laboratorium. Dalam penelitian ini, tanaman ubi kayu (*Manihot esculenta*) digunakan karena merupakan inang utama bagi kutu putih *P. manihoti*, yang bersifat oligofag dengan preferensi tinggi terhadap tanaman dari genus *Manihot* (CABI 2022). Namun, beberapa tanaman inang alternatif selain ubi kayu, seperti *Talinum triangulare* (ginseng jawa), *Euphorbia pulcherrima* (kastuba), dan *Codiaeum variegatum* (pring) telah dilaporkan dapat mendukung pertumbuhan dan perkembangan *P. manihoti* dalam kondisi terbatas (Le Ru & Tertuliano 1993; Renard et al. 1998; Calatayud & Le Ru 2006). Studi lain oleh Essien et al. (2013) menunjukkan bahwa *P. manihoti* dapat dipelihara secara terbatas pada *T. triangulare* (ginseng jawa) dan *Ageratum conyzoides* (babadotan), meskipun dengan tingkat kelangsungan hidup dan reproduksi yang lebih rendah dibandingkan dengan tanaman inang utamanya. Selain itu, taro (*Colocasia esculenta*) juga telah terbukti mampu mendukung siklus hidup *P. manihoti*, dengan kualitas pertumbuhan kutu putih dan keberhasilan reproduksi parasitoid *A. lopezi* yang mendekati dengan yang dipelihara pada ubi kayu sehingga dapat dipertimbangkan sebagai inang alternatif dalam sistem pemeliharaan di laboratorium (Tuan et al. 2020). Penggunaan tanaman inang alternatif ini dapat memberikan fleksibilitas dalam pemeliharaan koloni kutu putih, terutama ketika ketersediaan atau kualitas daun ubi kayu tidak optimal.

Kutu putih *P. manihoti* juga telah ditemukan menyerang tanaman dari famili lain seperti Rutaceae (jeruk) dan Solanaceae (tomat), namun tidak ada bukti bahwa *P. manihoti* mampu menyelesaikan siklus hidupnya secara penuh selama lebih dari satu generasi pada tanaman selain dari Genus *Manihot* dan beberapa anggota Famili Euphorbiaceae lainnya (Williams & Granara de Willink 1992; CABI 2022). Oleh karena itu, meskipun tanaman alternatif dapat digunakan sebagai inang sementara dalam sistem pemeliharaan di laboratorium, ubi kayu tetap menjadi inang utama yang paling sesuai untuk menunjang keberhasilan produksi massal parasitoid *A. lopezi* secara berkelanjutan di laboratorium.

Nisbah kelamin keturunan parasitoid *A. lopezi* yang dihasilkan dari kegiatan perbanyakan massal di laboratorium didominasi oleh keturunan betina dengan rerata sebesar 68,91% atau setara dengan rasio jantan dan betina sebesar 1:2,21. Hasil studi ini serupa dengan penelitian sebelumnya oleh Naimah et al. (2023) yang melaporkan bahwa perbanyakan parasitoid *A. lopezi* di laboratorium cenderung menghasilkan lebih banyak betina sebanyak 52,14% dengan rasio jantan dan betina sebesar 1:1,09. Pemeliharaan massal parasitoid untuk augmentasi atau pelepasan akan lebih ekonomis apabila produksi dirancang untuk menghasilkan lebih banyak keturunan betina (Alvarenga et al. 2015) karena parasitoid betina memiliki peranan penting dalam keberhasilan program pengendalian hayati (Wang et al. 2021). Dengan demikian, proporsi parasitoid betina yang dilepaskan ke lahan harus lebih banyak. Rasio jenis kelamin parasitoid Hymenopteran di laboratorium dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti pola makan imago parasitoid (Benelli et al. 2017; Ongaratto et al. 2019), kualitas inang (Farahani et al. 2016), superparasitisme (Alvarenga et al. 2015; Diaz-Fleischer et al. 2015; DaSilva et al. 2016; Parratt et al. 2016), suhu (Mawela et al. 2013; Zhang et al. 2016; del Pino et al. 2020; Vieira et al. 2020), dan stadium atau ukuran inang (Ueno 2015; Iqbal et al. 2016; Li et al. 2017; Favaro et al. 2018; Poncio et al. 2018). Pada penelitian ini, kegiatan perbanyakan massal parasitoid *A. lopezi* di laboratorium menggunakan populasi inang yang bersifat seragam, yaitu nimfa kutu putih *P. manihoti* instar ke-3. Menurut Adriani et al. (2020), parasitoid *A. lopezi* lebih tinggi memarasiti kutu putih *P. manihoti* yang berukuran lebih besar seperti nimfa instar ketiga dan imago, serta proporsi keturunan jantan menurun seiring dengan meningkatnya ukuran inang. Hasil serupa juga diperoleh oleh Sarkar et al. (2015) bahwa parasitoid *Allotropa suasaardi* Sarkar & Polaszek (Hymenoptera: Platygasteridae) yang memarasiti nimfa instar pertama dan kedua menghasilkan lebih banyak keturunan

jantan, sedangkan pada inang berupa nimfa instar ketiga dan imago menghasilkan lebih banyak keturunan betina. Karmakar & Shera (2018) juga melaporkan hal yang sama bahwa nimfa instar pertama dan kedua *P. solenopsis* condong menghasilkan parasitoid *Aenasius arizonensis* (Girault) (Hymenoptera: Encyrtidae) jantan, sedangkan nimfa instar ke-3 dan imago condong menghasilkan betina. Sandanayaka et al. (2021) juga melaporkan bahwa parasitoid *Anagyrus fusciventris* (Girault) (Hymenoptera: Encyrtidae) menunjukkan keturunan betina lebih banyak muncul dari inang yang lebih besar, sedangkan keturunan parasitoid jantan lebih banyak muncul dari inang berukuran lebih kecil. Dengan demikian, ukuran inang terbukti memengaruhi alokasi jenis kelamin keturunan parasitoid sehingga keturunan parasitoid *A. lopezi* yang dihasilkan dari kegiatan perbanyakan massal di laboratorium didominasi oleh betina.

Berdasarkan penghitungan estimasi biaya produksi parasitoid *A. lopezi* diperoleh biaya produksi sebesar Rp48.425,- atau Rp65,- per mumi. Estimasi biaya produksi parasitoid tersebut tergolong lebih rendah dibandingkan dengan estimasi biaya produksi pada parasitoid lainnya, seperti parasitoid *Cotesia marginiventris* Cresson (Hymenoptera: Braconidae) yang dipelihara dengan menggunakan inang larva *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) dan membutuhkan biaya sebesar 0,52 USD (sekitar Rp8.320,- dengan asumsi nilai tukar tahun 2025) untuk memproduksi satu imago parasitoid (Perier et al. 2023). Selain itu, Vacari et al. (2012) memproduksi sejumlah pupa *Cotesia flavipes* Cameron (Hymenoptera: Braconidae) per cawan petri yang berisi lima larva *Diatraea saccharalis* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae) dan menghasilkan rata-rata 50 individu parasitoid pada generasi berikutnya, serta biaya produksi diperoleh 0,05 USD (sekitar Rp800,- dengan asumsi nilai tukar tahun 2025) per pupa parasitoid. Perbanyakan massal dengan biaya produksi yang rendah dapat mendukung penggunaan musuh alami secara luas oleh petani, baik dalam skala kecil maupun besar sebagai program pengendalian hayati. Efisiensi biaya produksi menjadi faktor penting yang memengaruhi perkembangan industri pengendalian hayati (El-Wakeil et al. 2019). Oleh karena itu, pemanfaatan parasitoid *A. lopezi* yang bersifat spesifik dan efektif dalam mengendalikan kutu putih *P. manihoti*, serta dengan biaya yang relatif murah, yaitu hanya sekitar Rp65,- per mumi, jauh lebih rendah dibandingkan dengan biaya produksi beberapa parasitoid lain yang dilaporkan sebelumnya, menunjukkan bahwa biaya tersebut relatif ekonomis. Hal ini menjadikan *A. lopezi* berpotensi besar

mendukung penerapan pengendalian hayati yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Produksi massal parasitoid *A. lopezi* paling efisien diperoleh dengan penggunaan 9 stek ubi kayu per kurungan berukuran 75 cm × 50 cm × 50 cm, yang menghasilkan rata-rata $742,2 \pm 12,21$ mumi kutu putih. Keturunan parasitoid yang dihasilkan dari perbanyakan ini didominasi oleh individu betina dengan rerata proporsi sebesar 68,91%, yang penting untuk keefektifan pengendalian hama di lahan. Estimasi biaya produksi untuk menghasilkan satu mumi parasitoid sebesar Rp65,-. Hasil studi ini memberikan dasar teknis dan ekonomi untuk mendukung pengembangan sistem produksi massal parasitoid *A. lopezi* secara efisien dan berkelanjutan dalam mendukung program pengendalian hayati *P. manihoti*. Dengan demikian, pendekatan ini layak direkomendasikan untuk diaplikasikan dalam skala laboratorium dan dapat diadaptasi lebih luas pada skema produksi agens hayati lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriani E, Rauf A, Pudjianto. 2016. Laju enkapsulasi parasitoid *Anagyrus lopezi* (De Santis) (Hymenoptera: Encyrtidae) oleh kutu putih singkong, *Phenacoccus manihoti* Matile Ferrero (Hemiptera: Pseudococcidae). *Jurnal Entomologi Indonesia*. 13:147–155. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.13.3.147>.
- Adriani E, Rauf A, Pudjianto. 2020. Influence of host stage on oviposition, development, and sex ratio of *Anagyrus lopezi* (De Santis) (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero (Hemiptera: Pseudococcidae). *Jurnal Hama Penyakit Tumbuhan Tropika*. 20:130–139. DOI: <https://doi.org/10.23960/jhptt.220130-139>.
- Alvarenga CD, Dias V, Stuhl C, Sivinski J. 2015. Contrasting brood-sex ratio flexibility in two opiine (Hymenoptera: Braconidae) parasitoids of Tephritid (Diptera) fruit flies. *Journal of Insect Behavior*. 29:25–36. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10905-015-9532-2>.
- Benelli G, Giunti G, Tena A, Desneux N, Caselli A, Canale A. 2017. The impact of adult diet on parasitoid reproductive performance. *Journal of Pest Science*. 90:807–823. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0835-2>.
- [CABI] Centre of Agriculture and Biosciences International. 2022. *Phenacoccus manihoti* (Cassava Mealybug). Wallingford: CABI International. DOI: <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.40173>.
- Calatayud PA, Le Ru B. 2006. *Cassava-Mealybug Interactions*. Paris: Institut de Recherche Pour le Développement (IRD). DOI: <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.9865>.
- Chen W, Weng Q, Nie R, Zhang H, Jing X, Wang M, Li Y, Mao J, Zhang L. 2021. Optimizing photoperiod, exposure time, and host-to-parasitoid ratio for mass-rearing of *Telenomus remus*, an egg parasitoid of *Spodoptera frugiperda*, on *Spodoptera litura* eggs. *Insects*. 12:1050. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12121050>.
- Couchoux C, van Nouhuys S. 2014. Effects of intraspecific competition and host-parasitoid developmental timing on foraging behaviour of a parasitoid wasp. *Journal of Insect Behavior*. 27:283–301. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10905-013-9420-6>.
- DaSilva CSB, Morelli R, Parra JRP. 2016. Effects of self-superparasitism and temperature on biological traits of two Neotropical *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) Species. *Journal of Economic Entomology*. 109:1555–1563. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/tow126>.
- Diaz-Fleischer F, Galvez C, Montoya P. 2015. Oviposition, superparasitism, and egg load in the solitary parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae): Response to host availability. *Annals of the Entomological Society of America*. 108:235–241. DOI: <https://doi.org/10.1093/aesa/sav012>.
- Dutra TM, Batista MG, Teixeira JCA, Todorova S, Oliveira L, Tavares J, Borgesf I, Soaresf AO. 2023. Economic and financial model to the mass-rearing of *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) (Heteroptera: Miridae), a biological control agent against the tomato moth *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in protected culture. *Pest Management Science*. 79:3712–3720. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.7552>.
- El-Wakeil N, Saleh M, Abu-hashim M. 2019. *Cottage Industry of Biocontrol Agents and Their Applications: Practical Aspects to Deal Biologically with Pests and Stresses Facing Strategic Crops*. Cham: Springer Nature Switzerland AG. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-33161-0>.
- Eliopoulos PA, Kapranas A, Givropoulou EG, Hardy LCW. 2016. Reproductive efficiency of the bethylid wasp *Cephalonomia tarsalis*: the influences of spatial structure and host density. *Bulletin of Entomological Research*. 107:139–147. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007485316000651>.
- Essien, Anietie R, Odebiyi, Adebayo J, Ekanem, Sunday M. 2013. Alternate host plant of *Phenacoccus manihoti* Matile Ferrero (Homoptera: Pseudococcidae), the cassava mealybug. *Journal of Environmental Management*. 2:457–466.
- Fanani MZ, Rauf A, Maryana N, Nurmansyah A, Hindayana D. 2019. Geographic distribution of the invasive mealybug *Phenacoccus manihoti* and its introduced parasitoid *Anagyrus lopezi* in parts of Indonesia. *Biodiversitas*. 20:3751–3757. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d201238>.
- Fanani MZ, Rauf A, Maryana N, Nurmansyah A, Hindayana D. 2020. Parasitism of cassava mealybug by *Anagyrus lopezi*: Effects of varying host and parasitoid densities. *Biodiversitas*. 21:4973–4980. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211064>.
- Farahani HK, Ashouri A, Zibae A, Abroon P, Alford L. 2016. The effect of host nutritional quality on multiple components of *Trichogramma brassicae* fitness. *Bulletin of Entomological Research*. 106:633–641. DOI: <https://doi.org/10.1017/S000748531600033X>.

- Favaro R, Roved J, Girolami V, Martinez-Sanudo I, Mazzon L. 2018. Host instar influence on offspring sex ratio and female preference of *Neodryinus typhlocybae* (Ashmead) (Hymenoptera, Dryinidae) parasitoid of *Metcalfa pruinosa* (Say) (Homoptera, Flatidae). *Biological Control*. 125:113–120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.05.009>.
- Feng DD, Li P, Zhou ZS, Xu ZF. 2014. Parasitism potential of *Aenasius bambawalei* on the invasive mealybug *Phenacoccus solenopsis*. *Biocontrol Science and Technology*. 24:1333–1338. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583157.2014.939946>.
- Gao SK, Wei K, Tang YL, Wang XY, Yang ZQ. 2016. Effect of parasitoid density on the timing of parasitism and development duration of progeny in *Sclerodermus pupariae* (Hymenoptera: Bethyridae). *Biological Control*. 97:57–62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.03.003>.
- Iranipour S, BenaMoleai P, Asgari S, Michaud JP. 2020. Foraging egg parasitoids, *Trissolcus vassilievi* (Hymenoptera: Platygasteridae), respond to host density and conspecific competitors in a patchy laboratory environment. *Journal of Economic Entomology*. 112:760–769. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/toz345>.
- Iqbal MS, Abidin Z, Arshad M, Abbas SK, Tahir M, Jamil A, Manzoor A. 2016. The role of parasitoid age on the fecundity and sex ratio of the parasitoid, *Aenasius bambawalei* (Hayat) (Hymenoptera: Encyrtidae). *Pakistan Journal of Zoology*. 48:67–72.
- James B, Yaninek J, Neuenschwander P, Cudjoe A, Modder W, Eschendu N, Toko M. 2000. *Pest Control in Cassava Farm*. Lagos: International Institute of Tropical Agriculture.
- Joodaki R, Zandi-Sohani N, Zarghami S, Yarahmadi F. 2018. Temperature-dependent functional response of *Aenasius bambawalei* (Hymenoptera: Encyrtidae) to different population densities of the cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae). *European Journal of Entomology*. 115:326–331. DOI: <https://doi.org/10.14411/eje.2018.032>.
- Karmakar P, Shera PS. 2018. Seasonal and biological interactions between the parasitoid, *Aenasius arizonensis* (Girault) and its host, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley on cotton. *Phytoparasitica*. 46:661–670. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12600-018-0696-0>.
- Karyani RD, Maryana N, Rauf A. 2016. Pengujian kekhususan inang parasitoid *Anagyrus lopezi* (De Santis) (Hymenoptera: Encyrtidae) pada empat spesies kutu putih yang berasosiasi dengan tanaman singkong. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 13:30–39. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.13.1.30>.
- Le Ru B, Tertuliano M. 1993. Tolerance of different host-plants to the cassava mealybug *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero (Homoptera: Pseudococcidae). *Journal of Pest Management*. 39:379–384. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670879309371826>.
- van Lenteren JC. 2012. The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl*. 57:1–20. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-011-9395-1>.
- Li X, Zhu L, Meng L, Li B. 2017. Brood size and sex ratio in response to host quality and wasp traits in the gregarious parasitoid *Oomyzus sokolowskii* (Hymenoptera: Eulophidae). *PeerJ*. 5:e2919. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.2919>.
- Lin L, Ali S, Wu J. 2018. Influences of varying host: Parasitoid ratios on parasitism of whitefly by three different parasitoid species. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 28:59. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41938-018-0050-3>.
- Liu JF, Cheng XW, Atif I, Hai YZ, Mao FY. 2022. Effects of host ages and release strategies on the performance of the pupal parasitoid *Spalangia endius* on the melon fly *Bactrocera cucurbitae*. *Agriculture*. 12:1629. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12101629>.
- Lopez P, Rosales D, Flores S, Montoya P. 2021. Mutual interference in the mass-reared fruit fly parasitoid, *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae). *BioControl*. 66:649–658. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-021-10102-w>.
- Luo SP, Li HM, Lu YH, Zhang F, Haye T, Kuhlmann U, Wu K. 2014. Functional response and mutual interference of *Peristenus spretus* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of *Apolygus lucorum* (Heteroptera: Miridae). *Biocontrol Science and Technology*. 24:247–256. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583157.2013.855703>.
- Maharani JS, Rauf A, Maryana N. 2019. Masa hidup imago, progeni dan kemampuan parasitasi *Anagyrus lopezi* (De Santis) (Hymenoptera: Encyrtidae), parasitoid kutu putih singkong. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 16:138–150. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.16.3.138>.
- Mawela KV, Kfir R, Kruger K. 2013. Effect of temperature and host species on parasitism, development time and sex ratio of the egg parasitoid *Trichogrammatoidea lutea* Girault (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Biological Control*. 64:211–216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.11.017>.
- Meilin A, Trisyono YA, Martono E, Buchori D. 2012. Teknik perbanyakan massal parasitoid *Anagrus nilaparvatae* (Pang et Wang) (Hymenoptera: Mymaridae) dengan kotak plastik. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 9:7–13. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.9.1.7>.
- Naimah F, Sartiami D, Maryana N, Anwar R, Pudjianto. 2023. Parasitoid of cassava mealybug, *Anagyrus lopezi* (Hymenoptera: Encyrtidae): Mummy size, adult emergence, sex ratio, and parasitization level. *Biodiversitas*. 24:1629–1634. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240335>.
- Nakamichi Y, Tuda M, Wajnberg E. 2020. Intraspecific interference between native parasitoids modified by a non-native parasitoid and its consequence on population dynamics. *Ecological Entomology*. 45:1263–1271. DOI: <https://doi.org/10.1111/een.12909>.
- Okuyama T. 2024. Density-dependent distributions of hosts and parasitoids resulting from density-independent dispersal rules: implications for host-parasitoid interactions and population dynamics. *Movement Ecology*. 83:1–10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40462-024-00525-2>.

- Ongaratto S, Pinto KJ, Berto RM, Nornberg SD, Gonçalves RS, Garcia MS, Nava DE. 2019. Influence of the host diet on the performance of *Doryctobracon areolatus* (Hymenoptera: Braconidae). *Brazilian Journal of Biology*. 80:727–734. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.217968>.
- Parratt SR, Frost CL, Schenkel MA, Rice A, Hurst GDD, King KC. 2016. Superparasitism drives heritable symbiont epidemiology and host sex ratio in a wasp. *PLoS Pathogens*. 12:e1005629. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005629>.
- Parsa S, Kondo T, Winotai A. 2012. The cassava mealybug (*Phenacoccus manihoti*) in Asia: first records, potential distribution, and an identification key. *Plos ONE*. 10:e47675. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047675>.
- de Pedro L, Beitia F, Ferrara F, Asis JD, Sabater-Munoz B, Tormos J. 2017. Effect of host density and location on the percentage parasitism, fertility and induced mortality of *Aganaspis daci* (Hymenoptera: Figitidae), a parasitoid of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Crop Protection*. 92:160–167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.007>.
- Perier JD, Haseeb M, Solis D, Kanga LHB, Legaspi JC. 2023. Estimating the cost of production of two pentatomids and one braconid for the biocontrol of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in maize fields in Florida. *Insects*. 169:1–10. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects14020169>.
- del Pino M, Gallego JR, Suarez EH, Cabello T. 2020. Effect of temperature on life history and parasitization behavior of *Trichogramma achaeae* Nagaraja and Nagarkatti (Hym.: Trichogrammatidae). *Insects*. 482:1–18. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects11080482>.
- Poncio S, Montoya P, Cancino J, Nava DE. 2016. Determining the functional response and mutual interference of *Utetes anastrephae* (Hymenoptera: Braconidae) on *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae) larvae for mass rearing purposes. *Annals of the Entomological Society of America*. 109:518–525. DOI: <https://doi.org/10.1093/aesa/saw031>.
- Poncio S, Nunes AM, Goncalves RDS, Lisboa H, Berto RM, Garcia MS, Nava DE. 2018. Strategies for establishing a rearing technique for the fruit fly parasitoid: *Doryctobracon brasiliensis* (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Economic Entomology*. 20:1–9. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/toy058>.
- Rebu JU, Rauf A. 2018. Survei hama eksotik *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero (Hemiptera: Pseudococcidae) pada tanaman singkong di Kabupaten Kupang. In: *Prosiding Seminar Nasional Pertanian ke V Pengelolaan Pertanian Lahan Kering Berkelanjutan untuk Menunjang Kedaulatan Pangan. (Kupang, 26 Oktober 2018)*. pp. 247–248. Kupang, Indonesian
- Renard S, Calatayud PA, Pierre JS, Le Ru B. 1998. Recognition behavior of the cassava mealybug *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero (Homoptera: Pseudococcidae) at the leaf surface of different host plants. *Journal of Insect Behavior*. 11:429–450. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1020911016042>.
- Sagarra LA, Vincent C, Stewart RK. 2000. Mutual interference among female *Anagyrus kamali* Moursi (Hymenoptera: Encyrtidae) and its impact on fecundity, progeny production and sex ratio. *Biocontrol Science and Technology*. 10:239–244. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583150050044510>.
- Saini A, Sharma PL. 2018. Functional response and mutual interference of *Cotesia vestalis* (Hymenoptera: Braconidae) on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Entomological Science*. 53:162–170. DOI: <https://doi.org/10.18474/JES17-36.1>.
- Sandanayaka WRM, Santos K, Davis VA, Jenkins HK, Bell VA. 2021. Reproductive success and progeny sex ratio of a laboratory colony of *Anagyrus fusciventris* (Hymenoptera: Encyrtidae). *Biocontrol Science and Technology*. 31:1388–1402. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583157.2021.1955827>.
- Sarkar M, Suasaard W, Uraichuen S. 2015. Host stage preference and suitability of *Allotropa suasaardi* Sarkar & Polaszek (Hymenoptera: Platygasteridae), a newly identified parasitoid of pink cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti* (Homoptera: Pseudococcidae). *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 37:381–387.
- Sartiami D, Watson GW, Roff M, Hanifah MD, Idris AB. 2015. First record of cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti* (Hemiptera: Pseudococcidae), in Malaysia. *Zootaxa*. 3957:235–238. DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3957.2.8>.
- Skovgard HG, Nachman. 2015. Effect of mutual interference on the ability of *Spalangia cameroni* (Hymenoptera: Pteromalidae) to attack and parasitize pupae of *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae). *Environmental Entomology*. 19:1076–1084. DOI: <https://doi.org/10.1093/ee/nvv096>.
- Thancharoen A, Lankaew S, Moonjuntha P, Wongphanuwat T, Sangtongpraow B, Ngoenklan R, Kittipadukul P, Wyckhuys KAG. 2018. Effective biological control of an invasive mealybug pest enhances root yield in cassava. *Journal of Pest Science*. 91:1199–1211. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-018-1012-y>.
- Tuan DN, Sam L, Zhang C, Bao CNN, Takano S, Takasu K. 2020. Taro *Colocasia esculenta* as an alternative host plant for rearing cassava mealybug (Hemiptera: Pseudococcidae) and its parasitoid *Anagyrus lopezi* (Hymenoptera: Encyrtidae). *Applied Entomology and Zoology*. 55:233–243. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13355-020-00690-x>.
- Ueno T. 2015. Effects of host size and laboratory rearing on offspring development and sex ratio in the solitary parasitoid *Agrothereutes lanceolatus* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *European Journal of Entomology*. 112:281–287. DOI: <https://doi.org/10.14411/eje.2015.048>.
- Vacari AM, Bortoli SA, Borba DF, Martins IM. 2012. Quality of *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) reared at different host densities and the estimated cost of its commercial production. *Biological Control*. 63:102–106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.06.009>.
- Vieira JGA, Kruger AP, Scheuneumann T, Garcez AM, Morais MC, Garcia FRM, Nava DE, Bernardi D. 2020. Effect

- of temperature on the development time and life-time fecundity of *Trichopria anastrephae* parasitizing *Drosophila suzukii*. *Journal of Applied Entomology*. 144:857–865. DOI: <https://doi.org/10.1111/jen.12799>.
- Vieira NF, Pomari-Fernandes A, Lemes AA, Vacari AM, De Bortoli AS, Bueno AF. 2017. Cost of production of *Telenomus remus* (Hymenoptera: Platygasteridae) grown in natural and alternative hosts. *Journal of Economic Entomology*. 110:2724–2726. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/tox271>.
- Wang S, Libo W, Jiawen L, Dayu Z, Tongxian L. 2021. Multiple mating of *Aphelinus asychis* enhance the number of female progeny but shorten the longevity. *Insects*. 12:823. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12090823>.
- Wang X, Aparicio EM, Duan JJ, Gould J, Hoelmer KA. 2020. Optimizing parasitoid and host densities for efficient rearing of *Ontsira mellipes* (Hymenoptera: Braconidae) on asian longhorned beetle (Coleoptera: Cerambycidae). *Environmental Entomology*. 49:1041–1048. DOI: <https://doi.org/10.1093/ee/nvaa086>.
- Wang ZZ, Liu YQ, Shi M, Huang JH, Chen XX. 2019. Parasitoid wasps as effective biological control agents. *Journal of Integrative Agriculture*. 18:705–715. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62078-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62078-7).
- Wardani N, Rauf A, Winasa IW, Santoso S. 2019. Effect of invasive pest *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero (Hemiptera: Pseudococcidae) in cassava. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology*. 5:1440–1445. DOI: <https://doi.org/10.22161/ijeab.45.24>.
- Wardani N. 2015. *Kutu Putih Ubi Kayu Phenacoccus manihoti Matile-Ferrero (Hemiptera: Pseudococcidae), Hama Invasif Baru di Indonesia*. Disertasi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Warsi S, Chicas-Mosier AM, Balusu RR, Jacobson AL, Fadamiro HY. 2023. Effects of food source availability, host egg: parasitoid ratios, and host exposure times on the developmental biology of *Megacocta cribraria* egg parasitoids. *Insects*. 755:1–20. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects14090755>.
- Williams DJ, Granara de Willink MC. 1992. *Mealybugs of Central and South America*. Wallingford: CAB International.
- Wyckhuys KAG, Rauf A, Ketelaar J. 2014. Parasitoid introduced into Indonesia: part of a region-wide campaign to tackle emerging cassava pests and diseases. *Biocontrol News and Information*. 35:35–37.
- Yang X-B, Campos-Figueroa M, Silva A, Henne DC. 2015. Functional response, prey stage preference, and mutual interference of the *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae) on tomato and bell pepper. *Journal of Economic Entomology*. 108:414–424. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/tou048>.
- Yazdani M, Keller M. 2015. Mutual interference in *Dolichogenidea tasmanica* (Cameron) (Hymenoptera: Braconidae) when foraging for patchily-distributed light brown apple moth. *Biological Control*. 86:1–6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.01.004>.
- Yonow T, Kriticos DJ, Ota N. 2017. The potential distribution of cassava mealybug (*Phenacoccus manihoti*), a threat to food security for the poor. *PLoS ONE*. 12:e0173265. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173265>.
- Zhang J, Huang J, Lu Y, Xia T. 2016. Effects of temperature and host stage on the parasitization rate and offspring sex ratio of *Aenasius bambawalei* Hayat in *Phenacoccus solenopsis* Tinsley. *PeerJ*. 4:e1586. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.1586>.
- Zhang YZ, Jin Z, Miksanek JR, Tuda M. 2021. Impact of a nonnative parasitoid species on intraspecific interference and offspring sex ratio. *Scientific Reports*. 11:23215. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02713-1>.