

KAPASITAS POTENSI PARASITISME *Trichogramma* sp. (Hymenoptera: *Trichogrammatidae*) TERHADAP *Corcyra* sp.

Astrid Sri Wahyuni Sumah^{1*}, Ali Alamsyah Kusumadinata²

¹Program Pascasarjana Pendidikan Biologi, Universitas Muhammadiyah Palembang, Jl. Jenderal Ahmad Yani, 13 Ulu, Palembang, Sumatera Selatan, 30263

²Universitas Djuanda, Jl. Tol Jagorawi No.1, Ciawi Kabupaten Bogor, Jawa Barat, 16720

*Corresponding author, e-mail: astrid.sumah@gmail.com

ABSTRACT

Parasitism research *Trichogramma* sp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) has been carried out with the aim of studying the functional response of the parasitoid *Trichogramma* sp. Functional response is one measure to determine the effectiveness of a predator or parasitoid as an agent in biological control, so that it can express a change in the number of preys attacked by individual predators. Temperature is one of the most important host-parasitoid interactions in functional responses. The method used in the parasitoid parasitism *Trichogramma* sp. on the host *Corcyra* sp. using four levels of egg density *Corcyra* sp. with two different temperature treatments (27°C and room temperature). The results show the functional response model of the parasitoid *Trichogramma* sp. against its host *Corcyra* sp. described in the type I model. Parasitization level of *Trichogramma* sp. showed the same results for both temperature treatments, however, it also shows differences in the speed of predation. It also showed linearity between the parasitoids *Trichogramma* sp. with the host *Corcyra* sp. Parasitism rates are still increasing, along with an increase in host density. This research can be a starting point to improve the control of *Corcyra* sp. using the parasitoid *Trichogramma* sp. in the field.

Keywords: *Corcyra* sp., Functional Response, Temperature, *Trichogramma* sp., Parasitoid

PENDAHULUAN

Faktor lingkungan berperan dalam menentukan laju pemangsaan (konsumsi) oleh suatu predator terhadap mangsanya atau parasitoid terhadap inangnya (Tarumingkeng, 1992). Bila sejumlah mangsa atau inang berinteraksi dengan sejumlah predator atau parasitoid, maka akan terjadi dua fenomena yaitu pemangsaan (mangsa atau inang) oleh predator atau parasitoid dan reproduksi predator atau parasitoid. Fenomena yang pertama menggambarkan tanggap fungsional predator atau parasitoid, sedangkan fenomena yang kedua menggambarkan tanggap numerik (Susilo, 2007).

Respon fungsional merupakan salah satu ukuran untuk menentukan keefektifan suatu predator atau parasitoid sebagai agens dalam pengendalian hayati (Schafer & Herz, 2020). Istilah ini digunakan untuk menyatakan perubahan jumlah mangsa yang diserang oleh individu predator akibat perubahan kepadatan populasi mangsa per satuan waktu (Hassel, 2000). Respon fungsional menggambarkan bagaimana tingkat konsumsi konsumen individu bervariasi di seluruh gradien kepadatan mangsa (Dunn & Hovel, 2020). Holling (1959) mempelajari pemangsaan mamalia kecil pada lalat gergaji pinus, dan menemukan bahwa tingkat pemangsaan meningkat dengan

meningkatnya kepadatan populasi mangsa. Hal ini dihasilkan dari 2 efek, yaitu setiap predator meningkatkan tingkat konsumsinya ketika dihadapkan pada kepadatan mangsa yang lebih tinggi (Kalinkat et al., 2013), dan kepadatan predator meningkat dengan meningkatnya kepadatan mangsa. Efek ini akan menggambarkan 2 macam respon populasi predator terhadap kepadatan mangsa, yaitu respon fungsional dan respon numerik.

Model respon fungsional parasitoid terhadap mangsa digambarkan dalam tiga tipe (Holling, 1959) yaitu model tipe I, jumlah mangsa yang dibunuh tiap parasitoid berbanding langsung dengan kepadatan mangsa dengan laju pencarian (a) yang konstan pada semua kepadatan mangsa, sehingga terjadi grafik yang *linier* (Denny, 2014). Model tipe II, jumlah mangsa yang dibunuh meningkat secara konstan pada awal populasi hingga kepadatan populasi maksimum, kemudian terjadi penurunan pemangsaan secara cepat seiring meningkatnya populasi mangsa, sehingga terjadi bentuk grafik yang *hiperbolik* (Stollenwerk et al., 2022). Pada tipe ini terdapat waktu penanganan mangsa (Th) dengan perilaku untuk membunuh dan memangsa mangsa (Papanikolaou et al., 2020), kemungkinan terjadi pengistirahatan sebelum bergerak untuk mencari mangsa yang lebih banyak lagi. Model tipe III menggambarkan bentuk grafik secara *sigmoid*, dengan pemangsaan secara lambat di awal populasi kemudian meningkat dengan cepat pada tingkat populasi yang tinggi (Dunn & Hovel, 2020), selanjutnya pemangsaan terjadi secara lambat kembali pada tingkat populasi mangsa mendekati kejenuhan (Jeschke et al., 2022).

Parasitoid *Trichogramma* sp. adalah yang paling sering dipelajari di dunia dan dibiakkan secara besar-besaran (Davies et al. 2019). Keuntungan penggunaannya adalah kemampuan untuk mengendalikan hama dari berbagai mangsa yang berbeda (Jalali et al., 2016), terspesialisasi (Wang et al., 2018) dan efisien (Geremias & Parra 2014; Arruda et al., 2014). Parasitoid ini juga sering digunakan untuk melihat tingkat parasitoid dengan berbagai suhu yang berbeda (Oliviera et al., 2017; Fragoso et al., 2019). Akan tetapi, perbedaan potensi awal predasi dalam suhu yang tidak jauh berbeda, khususnya, kurang dilakukan. Kami memperkirakan bahwa awal pemangsaan akan memiliki waktu penanganan yang berbeda sesuai dengan suhu yang dialami selama perkembangan parasitoid. Perbedaan awal pemangsaan untuk suhu yang relatif yang tidak jauh beda dalam skala laboratorium dapat diakibatkan oleh ukuran tubuh parasitoid (Lindmark et al., 2017), jenis kelamin parasitoid (Louapre et al., 2018) atau perkembangan parasitoid (Zhang et al., 2019). Sehingga, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi parasitisme parasitoid *Trichogramma* sp. terhadap inang telur *Corcyra* sp. dengan perbedaan suhu yang tidak jauh berbeda dan jenis tipe kurva respon fungsional yang dihasilkan.

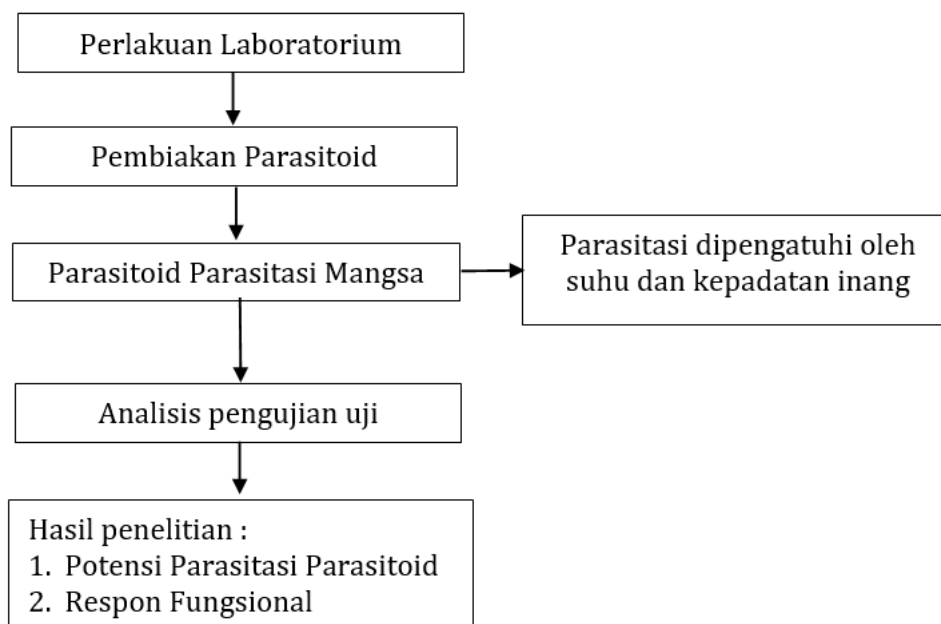
METODE

Penelitian dilakukan pada September 2021 di Laboratorium Biologi, FKIP, Universitas Muhammadiyah Palembang. Parasitoid yang digunakan adalah *Trichogramma* sp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) merupakan parasitoid telur dengan menggunakan inang telur *Corcyra* sp. Rancangan penelitian ini dapat dilihat di Gambar 1.

Perkembangbiakan *Trichogramma* sp.

Telur inang yang digunakan berumur kurang dari 48 jam. Sebanyak 100 butir telur inang ditempelkan pada kertas perkamen, dimasukkan ke dalam tabung reaksi, dan ditutup dengan kain. Tabung reaksi diberi larutan madu sebagai pakan kemudian

disimpan pada suhu ruang hingga parasitoid dewasa keluar. Pengamatan tabel kehidupan parasitoid *Trichogramma* sp. dilakukan untuk mengetahui umur fase perkembangan parasitoid tersebut. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan 15 parasitoid betina dewasa yang telah berkopulasi (berumur 12-24 jam). Setelah sanggama, masing-masing parasitoid betina dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan diberi larutan madu konsentrasi 10%. Telur didiamkan selama 24 jam sampai parasitoid dewasa keluar. Telur diganti setiap hari sampai betina dewasa mati. Pada penelitian ini, potensi betina dewasa dalam parasitisasi telur inang diamati. Telur inang yang diparasit dipindahkan setiap hari sampai keturunan baru muncul.



Gambar 1. Rancangan Penelitian

Uji Parasitisme Parasitoid

Uji parasitisme parasitoid *Trichogramma* sp. terhadap inang telur *Corcyra* sp. dilakukan pada empat taraf kepadatan telur yaitu 5, 10, 20, dan 30 butir per pias dengan dua perlakuan suhu yaitu 27°C dan suhu kamar (30°C). Pias yang terdiri dari inang telur *Corcyra* sp. dengan masing-masing taraf kepadatan dimasukkan ke dalam tabung yang berisi seekor imago betina *Trichogramma* sp. yang telah berkopulasi. Kemudian disimpan dalam inkubator dengan suhu 27°C dan suhu kamar dengan *constant light* dan dibiarkan imago betina memarasit selama 24 jam. Setelah pemaparan, *Trichogramma* sp. dipisahkan dari inang dan disimpan dalam inkubator 5-6 hari sampai terlihat perubahan warna putih menjadi kecoklatan (terparasit). Jumlah telur yang terparasit pada setiap perlakuan dihitung, sedangkan yang tidak terparasit dirusak untuk mencegah telur yang terparasit dimakan oleh larva *Corcyra* sp. Perlakuan diulang sebanyak 6 kali. Analisis data menggunakan uji *t* dan dilanjutkan dengan uji beda nyata jujur pada taraf 5%, dimana *t* hitung harus lebih besar dari nilai *t* tabel sebesar 2,228 (Steel & Torrie, 1989).

HASIL DAN PEMBAHASAN

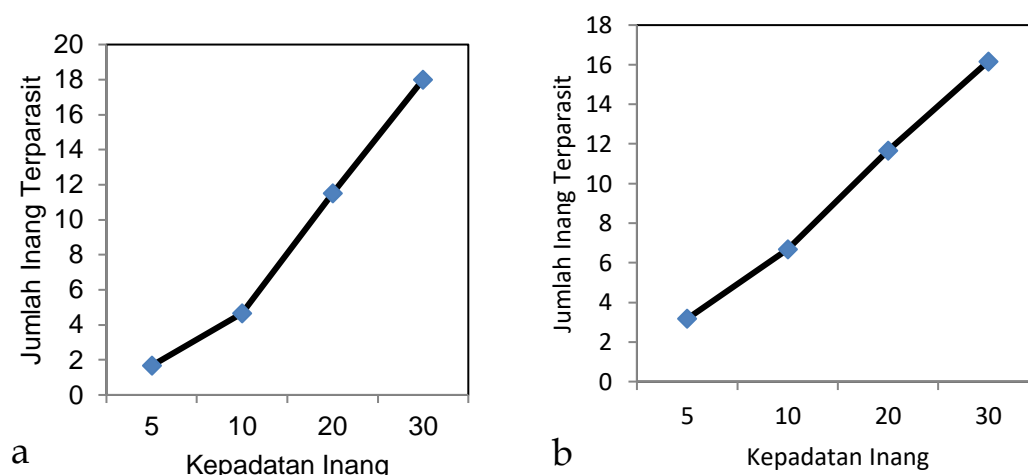
Ngengat beras, *Corcyra cephalonica* merupakan hama biji-bijian dan produk yang pertanian yang disimpan di gudang (Vincent et al., 2021). Selain sebagai hama, *C.*

cephalonica juga berperan sebagai inang laboratorium untuk beberapa agen biokontrol seperti *Trichogrammatoidea eldanae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (Adom et al., 2021), *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) (Mbata & Warsi, 2019), dan tungau (Ahmad et al., 2017; Padhy et al., 2020). Kesiapan untuk produksi massal *C. cephalonica* menyebabkan pemanfaatannya sebagai inang buatan, karena inang asli dari agen biokontrol tersebut tergolong langka, tidak dapat beradaptasi dengan pemeliharaan massal, atau mahal untuk diproduksi (Rossini et al., 2021). Alasan *Trichogramma* sp. digunakan sebagai agen biokontrol karena parasitoid ini membunuh mangsa mulai dari telur sebelum mangsa tersebut mulai merusak hasil pertanian (OS & Varshney, 2018) dan parasitoid ini juga bisa digunakan bersama dengan agen biokontrol lainnya dalam waktu yang bersamaan (de Lourdes Correa Figueiredo et al., 2015). *Trichogramma* sp. merupakan parasitoid yang mampu menguntungkan petani dan memberikan dampak yang besar terhadap lingkungan (Adom et al., 2021). *Trichogramma* sp. merupakan bagian dari pengelolaan tanaman terpadu yang berkelanjutan dengan menerapkan teknologi pengendalian hama terpadu (PHT) yang terfokus baik secara teknis maupun nonteknis agar mampu dikembangkan menjadi bagian dari pengendalian secara alami (Rakes et al., 2021).

Hasil pengamatan menunjukkan adanya hubungan antara kepadatan inang dan laju parasitisasi atau respon fungsional *Trichogramma* sp. terhadap inangnya *Corcyra* sp. Pertambahan kepadatan inang diikuti dengan peningkatan laju parasitisasi (Gambar 2). Perlakuan suhu hanya mempengaruhi bentuk kurva respon fungsional sedangkan *trend* untuk semua perlakuan adalah sama yaitu parasitasi akan meningkat mengikuti kepadatan inang. Kecenderungan *Trichogramma* sp adalah dapat menetap dengan suhu yang bervariasi. Tingkat parasitasi *Trichogramma* sp. pada suhu 27^o C tidak berbeda dibandingkan parasitasi pada suhu kamar. Tetapi, memperlihatkan perbedaan kecepatan waktu predasi. *Trichogramma* sp. menunjukkan waktu predasi awal yang berbeda di kedua perlakuan suhu. Pada suhu 27^oC, *Trichogramma* sp. terlihat memiliki kecepatan predasi yang tidak terlalu cepat (Gambar 2a), bila dibandingkan dengan predasi di suhu kamar (30^oC) (Gambar 2b). Hal ini diakibatkan karena *Trichogramma* sp. memiliki waktu penanganan pemangsaan *Corcyra* sp. sebelum diparasiti. Predator dalam kondisi lapar akan lebih cepat memangsa mangsa yang akan mengakibatkan kurva naik secara signifikan (Gambar 2b). Waktu penanganan mangsa dipengaruhi oleh dua parameter, yaitu *a* (waktu pemangsaan) dan *Th* (waktu penanganan) yang pada umumnya ditemukan untuk respon fungsional tipe II (Wang et al., 2022). Tingkat waktu pemangsaan dan penanganan mangsa (Singh, 2022) sering dilakukan oleh predator sebelum terjadinya predasi. Hal ini dilakukan agar predator dapat memanfaatkan waktu dengan baik (Dong et al., 2017; Urban et al., 2020), metabolisme (Valderrama & Fields, 2016; Cuthbert et al. 2018; Stefan & Jonathan, 2019), suhu (Kristina et al., 2018; Daugaard et al. 2019), dan penyesuaian habitat (Canavero et al., 2017).

Respon fungsional adalah suatu respon yang ditunjukkan oleh kemampuan predator dalam memangsa, bertujuan untuk mengatur populasi kehidupan mangsanya (Ghorbani et al., 2019). Respon fungsional muncul sebagai faktor yang signifikan untuk menilai efisiensi musuh alami, yang bergantung pada keseimbangan antara kepadatan inang dan efisiensi pencarian parasitoid (Milanez et al., 2018). Model respon fungsional parasitoid *Trichogramma* sp. terhadap inangnya *Corcyra* sp. pada suhu 27^oC dan suhu kamar (Gambar 2) digambarkan dalam model tipe I. Jumlah inang yang terparasit setiap parasitoid berbanding langsung dengan kepadatan inang

dengan laju pencarian (a) yang konstan pada semua kepadatan mangsa, sehingga terjadi grafik yang linear. Respons fungsional linier tipe 1 oleh kedua parasitoid dihasilkan dari tingkat serangan yang konstan dan strategi mencari makan, dimana parasitoid meninggalkan kepadatan rendah atau tetap berada di patch inang berkualitas dan kepadatan inang yang memadai (Nunez-Campero et al., 2016; Kacar et al., 2017). Respons tipe I menggambarkan peningkatan linier dalam konsumsi saat kepadatan mangsa meningkat, ditentukan oleh tingkat penangkapan/serangan parasitoid, diikuti oleh konsumsi konstan di atas kepadatan ambang tertentu sebagai hasil dari tingkat kejenuhan parasitoid (Dunn & Hovel, 2020). Jenis respons fungsional parasitoid dapat bervariasi sesuai dengan kepadatan (Chen et al., 2016), garis keturunan, atau umur parasitoid (Mohammadpour et al., 2019), inang (Ebrahimifar et al., 2017), serta dengan perubahan lingkungan (Uszko et al., 2017; Lindmark et al., 2018), paling sering karena pengaruh suhu (Nikbin et al., 2014). Penemuan respons fungsional tipe I dan II untuk spesies *Trichogramma* sp. dalam skala laboratorium adalah hal yang biasa Fragoso et al., 2019).



Gambar 2. Hubungan antara kepadatan inang dan jumlah inang *Corcyra* sp. yang terparasit pada suhu 27°C (a) dan suhu kamar (30°C) (b).

Berdasarkan Gambar 1, hasil uji t -student dapat diketahui bahwa perbedaan suhu berpengaruh langsung terhadap parasitasi *Trichogramma* sp. pada kepadatan inang *Corcyra* sp. yang berbeda. Akan tetapi, berdasarkan nilai t hitung yang dihasilkan menunjukkan nilai yang lebih rendah dari nilai t tabel (t tabel: 2,228). Perbedaan hasil yang diperlihatkan dari nilai t dan kurva hubungan disebabkan karena parasitoid memiliki pemanfaatan waktu untuk memulai pemangsa. Waktu penanganan atau durasi yang dihabiskan pemangsa pada mangsa yang ditangkap untuk dikonsumsi, merupakan salah satu parameter dari banyak model respons fungsional (Papanikolaou et al., 2020) dan mengasumsikan bahwa predator menyesuaikan waktu penanganan untuk memaksimalkan kebugarannya (Louapre et al., 2018). Suhu sekitar dapat mempengaruhi tingkat metabolisme serangga (Stefan & Jonathan, 2019) yang secara tidak langsung juga mempengaruhi waktu penanganan mangsa (Daugaard et al. 2019) dan tingkat mencari makan (Sentis & Boukal, 2018). Sifat parasitoid akan cenderung mengurangi aktifitas dalam memarasit inangnya pada suhu yang rendah serta akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu.

Laju parasitasi terhadap kepadatan inang akan relatif sama, jika suhu yang ditemukan adalah sekitar 25⁰ – 30⁰ C (Carvalho *et al.*, 2017). Suhu yang terlalu cepat mengalami perubahan atau terlalu tinggi akan menurunkan aktifitas parasitoid, karena parasitoid akan lebih cepat kehilangan banyak cairan jika terus aktif bergerak (Carvalho, *et al.*, 2017). Parasitoid *T. chilonis* dan *T. poliae* yang berasal dari India dapat beraktivitas dengan suhu 35⁰C (Firake & Khan, 2014), akan tetapi perkembangan parasitoid yang lambat di kisaran suhu yang tinggi dapat meningkatkan kematian parasitoid itu sendiri saat memarasit inang. Evaluasi suhu yang optimal diperlukan untuk pertimbangan pembiakan di laboratorium serta pelepasan spesies parasitoid pada wilayah tertentu. Suhu tinggi dan kelembaban sedang berdampak kuat pada besarnya kapasitas parasitisasi dan dengan demikian respons fungsional parasitoid yang diuji (Rahimi-Kaldehy *et al.*, 2018). Kisaran suhu optimal untuk perkembangan parasitoid merupakan alat yang penting untuk memprogram perkembangbiakan parasitoid dengan keberadaan inang di lapangan (Foerster *et al.*, 2015). *T. rojasi* dan *T. acacioi* menunjukkan perkembangan yang baik pada suhu yang relatif rendah (13⁰-15⁰ C) (Davies *et al.*, 2019). Suhu memberikan pengaruh besar pada perkembangan dan perilaku parasitoid (de Carvalho *et al.*, 2014), serta pada respon fungsional dari musuh alami (Nikbin *et al.*, 2014). Penelitian ini dapat memfasilitasi optimalisasi kondisi laboratorium, khususnya dalam pengaturan suhu untuk pemeliharaan parasitoid, dan saat ini titik awal untuk meningkatkan kontrol *Corcyra* sp. di lapangan.

Tabel 1. Parasitasi *Trichogramma* sp. terhadap inang *Corcyra* sp. pada suhu yang berbeda

Ulangan	Kepadatan Inang							
	5		10		20		30	
	27 ⁰ C	Suhu Kamar (30 ⁰ C)	27 ⁰ C	Suhu Kamar (30 ⁰ C)	27 ⁰ C	Suhu Kamar (30 ⁰ C)	27 ⁰ C	Suhu Kamar (30 ⁰ C)
1	0	1	4	4	11	14	15	17
2	2	2	7	3	14	10	20	16
3	0	3	1	10	0	7	12	15
4	2	3	7	4	10	5	13	8
5	4	8	6	13	20	23	24	28
6	2	2	3	6	14	11	24	13
ΣY	10,00	19,00	28,00	40,00	69,00	70,00	108	97,00
ΣY ²	28,00	91,00	160,0	346,00	1013,00	1020,0	2090,0	1787,0
Ŷ	1,67	3,17	4,67	6,67	11,50	11,67	18,00	16,17
Σ(Y _{1j} - (ΣY ₁) ² /n	11,33	-	29,33	-	219,50	-	146,00	-
Σ(Y _{2j} - (ΣY ₂) ² /n	-	30,83	-	79,33	-	203,33	-	218,83
Varian	105,41		271,67		1057,08		912,08	
SB	2,42		3,88		7,66		7,11	
t hitung	-0,619		-0,514		-0,021		0,25	
t tabel (db = 10), taraf 0,05	2,228		2,228		2,228		2,228	
SK 95% (Batas atas)	6,89		10,66		17,24		14,03	
SK 95% (Batas bawah)	-3,89		-6,66		-16,91		-17,69	

SIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah potensi parasitisme parasitoid *Trichogramma* sp. terhadap inang telur *Corcyra* sp. berpengaruh langsung dengan

kepadatan inang dengan laju pencarian yang sedikit berbeda di suhu yang tidak jauh berbeda pada semua kepadatan mangsa. Potensi parasitasi parasitoid yang berpengaruh langsung terhadap mangsa menghasilkan grafik linear, sesuai dengan jenis kurva respon fungsional tipe I. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai landasan informasi bahwa terdapat perbedaan predasi dari parasitoid terhadap mangsa, walaupun memiliki perbedaan suhu yang tidak jauh beda dan saran untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat lebih melihat potensial perbedaan yang dihasilkan dari beberapa perlakuan yang tidak jauh beda.

REFERENSI

- Adom, M., Datinon, B., Tounou, A. K., Toffa-Mehinto, J. M. B., Dannon, E. A., Agboton, C., & Tamo, M. (2021). Suitability of three Lepidopteran host species for mass-rearing the egg parasitoid *Trichogrammatoidea eldanae* Viggiani (Hymenoptera: Trichogrammatidae) for biological control of cereal stemborers. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41, 295-302.
- Ahmad, M. J., Pathania, S. S., & Mohiuddin, S. (2017). Laboratory evaluation of anthocorid predator, *Blaptostethus pallescens* against storage pest, *Corcyra cephalonica* in rice. *Journal of Experimental Zoology India*, 20 (2), 897-900.
- Carvalho, G. S., Silva, L. B., Reis, S. S., Veras, M. S., Carneiro, E., Almeida, M. L. S., Silva, A. F., & Lopes, G. N. (2017). Biological parameters and thermal requirements of *Trichogramma pretiosum* reared on *Helicoverpa armigera* eggs. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52: 961-968.
- Canavero, A., Arim, M., Pérez, F., Jaksic, F. M., & Marquet, P. A. (2017). A metabolic view of amphibian local community structure: the role of activation energy. *Ecography*, 41 (2), 388-400.
- Chen, X., Wong, S. W. K., & Stansly, P. A. (2016). Functional response of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) to densities of its host, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psylloidea). *Annals of the Entomological Society of America*, 109 (3), 432-437.
- Cuthbert, R. N., Dick, J. T. A., Callaghan, A., & Dickey, J. W. E. (2018). Biological control agent selection under environmental change using functional responses, abundances and fecundities; the Relative Control Potential (RCP) metric. *Biological Control*, 121, 50-57.
- Daugaard, U., Petchey, O. L., & Pennekamp, F. (2019). Warming can destabilize predator-prey interactions by shifting the functional responses from type III to type II. *Journal of Animal Ecology*, 88 (10), 1575-1586.
- Davies, A. P., Pufke, U. S., & Zalucki, M. P. (2019). *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) Ecology in a Tropical Bt Transgenic Cotton Cropping System: 18 Sampling to Improve Seasonal Pest Impact Estimates in the Ord River Irrigation Area, Australia. *Journal Economic Entomological*, 102: 1018-1031.
- de Carvalho, J. R., Pratisoli, D., Dalvi, L. P., Silva, M. A., de Freitas Bueno, R. C. O., & Bueno, A. de F. (2014). Capacidade de parasitismo de *trichogramma pretiosum* em ovos de *trichoplusia ni* em diferentes temperaturas. *Acta Scientiarum - Agronomy*, 36(4), 417-424.
- de Lourdes Correa Figueiredo, M., Cruz, I., da Silva, R. B., & Foster, J. E. (2015). Biological control with *Trichogramma pretiosum* increases organic maize productivity by 19,4%. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 1175-1183.

- Denny, M. (2014). Buzz holling and functional response. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 95 (3), 200-203.
- Dong, H., Liu, Q., Xie, L., Cong, B., & Wang, H. (2017). Functional response of Wolbachia-infected and uninfected *Trichogramma dendrolimi* Matsumura (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae) eggs. *Journal Asia Pacific of Entomology*, 20, 787–793.
- Dunn, R. P., & Hovel, K. (2020). Predator type influences the frequency of functional responses to prey in marine habitats. *Biology Letter*, 16, 20190758–20190758.
- Ebrahimifar, J., Jamshidnia, A., & Allahyari, H. (2017). Functional response of *Eretmocerus delhiensis* on *Trialeurodes vaporariorum* by parasitism and host feeding. *Journal of Insect Science*, 17 (2), 56.
- Fragoso, D. F. M., Pratisoli, D., de Carvalho, J. R., Damascena, A. P., Junior, L. M. A., Bueno, R. C. O. F., & Túler, A. C. (2019). Capacity for Parasitism of *Trichogramma* spp. in Tomato Fruit Borer under Different Temperatures. *Journal of Experimental Agriculture Internasional*, 38 (5); 1-8.
- Firake, D. M., & Khan, M. A. (2014). Alternating temperatures affect the performance of *Trichogramma* species. *Journal of Insect Science*, 14, 1–14.
- Foerster, M. R., Marchioro, C. A., & Foerster, L. A. (2015). How *Trichogramma* survives during soybean offseason in Southern Brazil and the implications for its success as a biocontrol agent. *BioControl*, 60(1), 1–11.
- Geremias, L. D., & Parra, J. R. P. (2014). Dispersal of *Trichogramma galloi* in corn for the control of *Diatraea saccharalis*. *Biocontrol Science and Technology*, 24: 751-762.
- Ghorbani, R., Seraj, A. A., Allahyari, H., & Farrokhi, S. (2019). Functional response of *Trichogramma evanescens* parasitizing tomato leaf miner, *Tuta absoluta* on three tomato varieties. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 21, 117-127.
- Godfray, H. (1994). *Parasitoids: Behavioral and Evolutionary Ecology*. Princeton University Press.
- Hassel, M. (2000). *The Spatial and Temporal Dynamics of Host-Parasitoid Interactions*. Oxford University Press.
- Holling, C. (1959). Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Canadian Entomology*, 91, 365–398.
- Jalali, S. K., Mohanraj, P., & Lakshmi, B. L. (2016). *Trichogrammatids*. In Omkar (Ed). *Ecofriendly Pest management For Food Security*. India: Academic Press
- Jeschke, J. M., Laforsch, C., Diel, P., Diller, J. G. P., Horstmann, M., & Tollrian, R. (2022). *Predation*. In Thomas Mehner & Klemet Tockner (Ed), *Encyclopedia of Inland Waters*. Germany: Elsevier.
- Kacar, G., Wang, X-G., Biondi, A., & Daane, K. M. (2017). Linear functional response by two pupal *Drosophila* parasitoids foraging within single or multiple patch environments. *PLoS ONE*, 12(8): e0183525.
- Kalinkat, G., Schneider, F. D., Digel, C., Guill, C., Rall, B. C., & Brose, U. (2013). Body masses, functional responses and predator–prey stability. *Ecology Letters*, 16, 1126-1134.
- Kristina, R, Kristina, J., Anderson-Teixeira, F. A. Smith, D. J. H., & Ernest, S. K. M. (2018). Body size shifts influence effects of increasing temperatures on ectotherm metabolism. *Global Ecology and Biogeography*, 27 (8), 958-967.

- Lindmark, M., Huss, M., Ohlberger, J., & Gardmark, A. (2017). Temperature-dependent body size effects determine population responses to climate warming. *Ecology letters*, 21 (2), 181-189.
- Louapre, P., Le Lann, C., & Hance, T. (2018). When parasitoids deal with the spatial distribution of their hosts: consequences for both partners. *Insect Sciences*, 00, 1-9.
- Milanez, A. M., de Carvalho, J. R., Lima, V. L. S., & Pratisoli, D. (2018). Functional response of *Trichogramma pretiosum* on *Trichoplusia ni* eggs at different temperatures and egg densities. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 53(5), 641-645.
- Mbata, G. N., & Warsi, S. (2019). *Habrobracon hebetor* and *Pteromalus cerealellae* as tools in post-harvest integrated pest management. *Insects*, 10 (4), 85.
- Mohammadpour, M., Hosseini, M., Karimi, J., & Hosseiniveh, V. (2019). Effects of age-dependent parasitism in eggs of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) on Intraguild predation between *Nabis pseudoferus* (Hemiptera: Nabidae) and *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Journal of Insect Science*, 19 (3), 27.
- Nikbin, R., Sahragard, A., & Hosseini, M. (2014). Age-specific Functional Response of *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) Parasitizing Different Egg Densities of *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). In *Journal of Agriculture and Science Technology*, 16.
- Nunez-Campero, S. R., Benitez-Vieyra, S., Gorla, D. E., Ovruski, S. M. (2016). Changes in *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) functional response as a consequence of host density choice. *Annals of the Entomological Society of America*, 109(5): 730-6.
- Oliveira, C. M., Oliveira, J. V., Silva, Barbosa, D. R., Breda, M. O., França, S. M., & Duarte, B. L. R. (2017). Biological parameters and thermal requirements of *Trichogramma pretiosum* of the management of the tomato fruit borer (Lepidoptera: Crambidae) in tomatos. *Crop Protection*, 99:39-44.
- OS, N., & Varshney, R. (2018). Utilization of Trichogrammatid Egg Parasitoid in Pest Management. *Acta Scientific Agriculture*, 2 (3), 49-53.
- Padhy, D., Ramlakshmi, V., Dash, L., & Sahu, A. K. (2020). Advances in rearing of the laboratory host-rice moth *Corcyra cephalonica* Stainton. *Indian Journal of Pure and Applied Bioscience*, 8 (6), 501-510.
- Papanikolaou, N. E., Broufas, G. D., Papachristos, D. P., Pappas, M. L., Kyriakaki, C., Samaras, K., & Kypraios, T. (2020). On the mechanistic understanding of predator feeding behavior using the functional response concept. *Ecosphere*, 11(5), 1-9.
- Rakes, M., Pasini, R. A., Morais, M. C., Araujo, M. B., de Bastos Pazini, J., Seidel, E. J., Bernardi, D., & Grutzmacher, A. D. (2021). Pesticide selectivity to the parasitoid *Trichogramma pretiosum*: a pattern 10-year database and its implications for integrated pest management. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111504.
- Rahimi-Kaldehy, S., Ashouri, A., Bandani, A., & Ris, N. (2018). Abiotic and biotic factors influence diapause induction n sexual and asexual strains of *Trichogramma brassicae* (Hym: Trichogrammatidae). *Scientific Reports*, 8: 1-6.
- Rossini, L., Speranza, S., Severini, M., Locatelli, D. P., & Limonta, L. (2021). Life tables and a physiologically based model application to *Corcyra*

- cephalonica* (Stainton) populations. *Journal of Stored Products Research*, 91, 101781.
- Schäfer, L., & Herz, A. (2020). Suitability of European *Trichogramma* Species as Biocontrol Agents against the Tomato Leaf Miner *Tuta absoluta*. *Insects*, 11 (6): 357.
- Sentis, A., & Boukal, D. S. (2018). On the use of functional responses to quantify emergent multiple predator effects. *Scientific Reports*, 8, 11787.
- Singh, A. (2022). A comparative approach to stabilizing mechanism between discrete- and continuous-time consumer-resource models. *Plos One*, 17 (4), e0265825.
- Steel, R., & Torrie, J. (1989). *Prinsip dan Prosedur Statistika: Suatu Pendekatan Biometrik*. (S. (Alih B. B, Ed.). Gramedia Pustaka Utama.
- Stefan, M. L. & Jonathan, M. J. (2019). Towards a mechanistic understanding of individual-level functional responses: Invasive crayfish as model organisms. *Freshwater Biology*, 65 (4), 657-673.
- Stollenwerk, N., Aguiar, M., & Kooi, B. W. (2022). Modelling Holling type II functional response in deterministic and stochastic food chain models with mass conservation. *Ecological Complexity*, 49, 100982.
- Susilo, F. (2007). *Pengendalian Hayati dengan Memberdayakan Musuh Alami Hama Tanaman*. Graha Ilmu .
- Tarumingkeng, R. (1992). *Dinamika Pertumbuhan Populasi Serangga*. Institut Pertanian Bogor Press.
- Urban, M. C., Freidenfelds, N. A., & Richards, J. L. (2020). Microgeographic divergence of functional responses among salamanders under antagonistic selection from apex predators. *Proceedings Biological Sciences*, 287 (1938), 20201665.
- Uzsko, W., Diehl, S., Englund, G., & Amarasekare, P. (2017). Effects of warming on predator-prey interactions: a resource-based approach and a theoretical synthesis. *Ecology Letters*, 20, 513-523.
- Valderrama, D., & Fields, K. H. (2016). Flawed evidence supporting the Metabolic Theory of Ecology may undermine goals of ecosystem-based fishery management: the case of invasive Indo-Pacific lionfish in the western Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*, 74 (5), 1256-1267.
- Vincent, A., Singh, D., & Mathew I. L. (2021). *Corcyra cephalonica*: a serious pest of stored products or a factitious host of biocontrol agents?. *Journal of Stored Products Research*, 94, 101876.
- Wang, Z., Lui, Y., Shi, M., Huang, J., & Chen, X. (2018). Parasitoids wasps as effective biological control agents. *Science Direct*, 17: 60345-603457.
- Wang, Z-Q., Zhou, X-G., Xiao, Q., Tang, P., & Chen, X-X. (2022). The potential of *Parapanteles hyposidrae* and *Protapanteles immunis* (Hymenoptera: Braconidae) as biological control for the tea grey geometrid *Ectropis grisescens* (Lepidoptera). *Insects*, 13, 937.
- Zhang, Y-B., Zhang, G-F., Liu, W-X., & Wan, F-G. (2019). Variable temperatures across different stages have novel effects on behavioral response and population viability in a host-feeding parasitoid. *Scientific Reports*, 9, 2202.