

Predasi dan Respons Fungsional Lima Spesies Coccinellidae sebagai Predator Potensial Wereng Batang Coklat (*Nilaparvata lugens*)

Fatikhul Karim¹, Wiwin Windriyanti², Hery Nirwanto³

^{1,2,3}UPN “Veteran” Jawa Timur

fatikhul.karim@gmail.com¹, winfie2202@gmail.com², herry_n@upnjatim.ac.id³

ABSTRACT

Brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) is a major rice pest that can significantly reduce yields, even leading to crop failure, therefore a biological control strategy is needed by utilizing natural predators. This study tested the predation ability and functional response of five Coccinellidae species (*Micraspis lineata*, *Micraspis discolor*, *Cheilomenes sexmaculata*, *Coccinella transversalis*, and *Coelophora inaequalis*) against brown planthopper imago at five levels of prey density using a factorial Completely Randomized Design with 48 hour observation. This study analyzed the ability to prey, predation rate, attack rate, handling time, and the type of functional response through regression based on Holling Disc Equation modeling. The results showed significant differences between species ($p < 0.05$) with *C. transversalis* being the most efficient predator with the highest attack rate (0.6861) and the lowest handling time (0.0311), followed by *M. lineata* ($a = 0.6615$; $Th = 0.0798$), while *C. inaequalis* was the predator with the lowest effectiveness. All species showed a type III functional response with the quadratic model having the highest R^2 . These results indicate that *C. transversalis* and *M. lineata* are potential predators as biological control agents for brown planthopper in rice agroecosystems.

Keywords: Coccinellidae, brown planthopper, predation, functional response

ABSTRAK

Wereng batang coklat (*Nilaparvata lugens*) merupakan hama utama padi yang dapat menurunkan hasil secara signifikan bahkan hingga puso sehingga diperlukan strategi pengendalian hayati yang salah satunya adalah pemanfaatan predator alami. Penelitian ini menguji kemampuan predasi dan respons fungsional lima spesies Coccinellidae (*Micraspis lineata*, *Micraspis discolor*, *Cheilomenes sexmaculata*, *Coccinella transversalis*, dan *Coelophora inaequalis*) terhadap imago WBC pada lima tingkat kepadatan mangsa menggunakan Rancangan Acak Lengkap faktorial dengan pengamatan selama 48 jam. Penelitian ini menganalisis kemampuan memangsa, laju pemangsaan, *attack rate*, *handling time*, serta tipe respons fungsional melalui regresi berdasarkan pemodelan Holling Disc Equation. Hasil menunjukkan perbedaan nyata antar spesies ($p < 0,05$) dengan *C. transversalis* menjadi predator paling efisien dengan nilai *attack rate* tertinggi (0,6861) dan *handling time* terendah (0,0311), diikuti *M. lineata* ($a = 0,6615$; $Th = 0,0798$), sementara *C. inaequalis* menjadi predator dengan efektivitas paling rendah. Semua spesies menunjukkan respons fungsional tipe III dengan model kuadratik memiliki R^2 tertinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *C. transversalis* dan *M. lineata* merupakan predator potensial sebagai agen pengendali hayati WBC dalam agroekosistem padi.

Kata Kunci: Coccinellidae, wereng batang coklat, predasi, respons fungsional

PENDAHULUAN

Wereng batang coklat (*Nilaparvata lugens*) merupakan hama utama tanaman padi di kawasan Asia Pasifik termasuk di Indonesia. (Iamba & Dono, 2021; Yanuwidi

& Grahadi, 2022; Jeevanandham, *et al.*, 2022) dan terus menjadi masalah karena populasinya yang dinamis serta sifatnya sebagai hama laten (Baehaki & Mejaya, 2014; Puspito, *et al.*, 2022). Tingginya kemampuan reproduksi, mobilitas, dan ketahanan terhadap insektisida menyebabkan ledakan populasi WBC kerap terjadi, sementara penggunaan insektisida secara intensif justru memicu resistensi dan menurunkan populasi musuh alami. Kondisi ini menuntut pentingnya pemanfaatan agen pengendali hayati, terutama predator, sebagai bagian strategis dalam pengelolaan hama terpadu (PHT) yang berkelanjutan.

Famili Coccinellidae merupakan salah satu kelompok predator yang tersebar luas di agroekosistem (Snyder, 2009) dan memiliki peranan penting dalam menekan populasi serangga herbivor, terutama serangga berukuran kecil seperti kutu daun, wereng, dan serangga bertubuh lunak lainnya (Shanker *et al.*, 2018). Keberhasilan predator dalam mengendalikan populasi hama sangat dipengaruhi oleh kemampuan memangsa, laju pemangsaan, serta efisiensi fisiologis dan perilakunya dalam mencari serta memproses mangsa. Parameter-parameter tersebut dapat diukur melalui pendekatan respons fungsional yang menjadi komponen penting dalam menilai efektivitas predator karena memberikan gambaran kuantitatif mengenai kapasitas regulasi predator terhadap populasi hama pada berbagai tingkat kerapatan (Pervez & Omkar, 2005).

Respons fungsional merupakan salah satu ukuran untuk menentukan efektivitas suatu predator dalam pengendalian hayati (Ginting *et al.*, 2017; Beardsell *et al.*, 2021). Respons fungsional menyajikan model pemangsaan predator yang memberikan gambaran mengenai keefektifan predator dalam mengendalikan populasi mangsanya (Dick *et al.*, 2014; Dirgayana *et al.*, 2021). Hubungan antara predator dan mangsa digambarkan ke dalam tiga model tipe respons fungsional yaitu tipe I, II dan III (Holling, 1959; Price *et al.*, 2011). Tipe I atau tipe respons fungsional linier merupakan kondisi laju memangsa meningkat atau menurun sehubungan dengan peningkatan atau penurunan tingkat populasi mangsa. Pada tipe II atau respons fungsional hiperbolik, laju pemangsaan menurun dengan meningkatnya kerapatan mangsa yang rendah, mortalitas mangsa maksimal terjadi pada kerapatan mangsa yang rendah. Sedangkan tipe III atau respons fungsional sigmoid, pada awalnya peningkatan pemangsaan berlangsung lambat, diikuti dengan peningkatan yang lebih cepat kemudian konstan (Nelly *et al.*, 2012). Dalam respons fungsional, keefektifan predator sangat tergantung pada kemampuannya mencari dan menangani mangsa pada kerapatan dan jenis mangsa yang berbeda. Hal tersebut berkaitan dengan waktu yang diperlukan untuk mencari, menangani, dan memakan individu mangsa (Dupke *et al.*, 2021). Kerapatan mangsa merupakan aspek penting yang mempengaruhi kemampuan predator, karena laju predasi dari predator dapat berubah tergantung pada kerapatan mangsa (Effendi *et al.*, 2016).

Perbedaan tipe respons fungsional pada predator memiliki implikasi penting dalam stabilitas ekosistem dan efektivitas pengendalian hayati (Kalinkat *et al.*, 2013). Predator bertipe II biasanya efektif menekan populasi hama pada kepadatan rendah hingga sedang, namun berpotensi kurang stabil pada dinamika populasi tertentu. Sebaliknya, predator bertipe III dianggap lebih stabil secara ekologis dan mampu

menekan pertumbuhan populasi hama saat populasinya mulai meningkat (Pervez & Omkar, 2005). Dengan demikian, analisis respons fungsional memberikan gambaran mendalam mengenai kemampuan predator dalam merespons dinamika populasi mangsa dalam berbagai kondisi ekologis.

Beberapa spesies Coccinellidae seperti *Micraspis lineata*, *Micraspis discolor*, *Cheilomenes sexmaculata*, *Coccinella transversalis*, dan *Coelophora inaequalis* diketahui sering ditemukan pada ekosistem padi dan berpotensi sebagai predator WBC. Namun, informasi mengenai kemampuan pemangsaan serta tipe respons fungsional masing-masing spesies terhadap wereng batang coklat masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan predasi dan respons fungsional lima spesies Coccinellidae terhadap WBC guna mengetahui model interaksi predator-mangsa yang menggambarkan perilaku pemangsaan predator tersebut.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang kontribusi masing-masing spesies predator dalam regulasi populasi WBC serta mendukung pemilihan spesies Coccinellidae yang berpotensi tinggi sebagai agen pengendali hayati dalam sistem budidaya padi berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial, yang terdiri dari 2 faktor perlakuan. Faktor pertama adalah kepadatan WBC yang terdiri dari 5 taraf perlakuan, yaitu: kepadatan 3, 6, 9, 12 dan 15 ekor serta faktor kedua adalah jenis predator yang terdiri dari 5 jenis predator yaitu *Micraspis lineata*, *Micraspis discolor*, *Cheilomenes sexmaculata*, *Coccinella transversalis*, dan *Coelophora inaequalis*. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 ulangan, sehingga terdapat 75 unit percobaan. Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus – November 2024 di Laboratorium Hama, Wilayah Kerja Proteksi Tanaman Pangan dan Hortikultura Mojokerto, UPT Proteksi Tanaman Pangan dan Hortikultura Jawa Timur.

Pelaksanaan penelitian

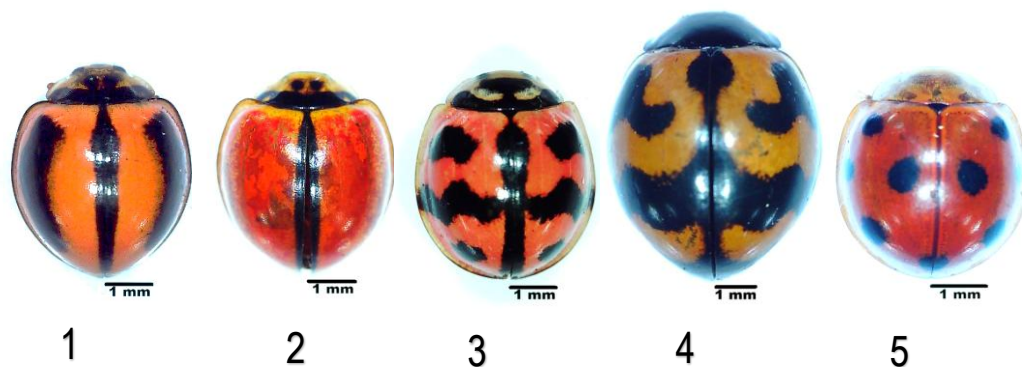
a. Penyediaan WBC Uji

Benih padi varietas inpari 32 disemaikan di nampan plastik ukuran 20 x 30 cm. setelah tanaman padi berumur \pm 10 hari dipindahkan di dalam sangkar dengan ukuran 100 x 50 x 75 cm untuk pakan WBC. Penyediaan tanaman padi dilakukan secara berkala setiap 3 hari sekali untuk ketersediaan pakan WBC. WBC diperoleh dari pertanaman padi dari lahan sawah Desa Jabon, Kecamatan Mojoanyar, Kabupaten Mojokerto dan dipelihara dalam sangkar serangga ukuran 100 x 50 x 75 cm dengan diberi pakan padi berumur \pm 10 hss yang telah disemai di nampan. WBC dipelihara dan diperbanyak secara berkelanjutan untuk digunakan sebagai pakan

Coccinellidae pada uji respons fungsional. Fase wereng batang coklat yang digunakan untuk uji respons fungsional adalah fase imago.

b. Penyediaan Predator Coccinellidae

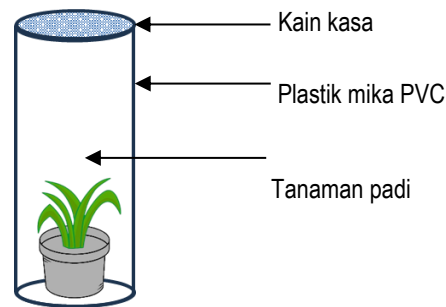
Coccinellidae diperoleh dari hasil tangkapan secara manual dengan menggunakan jaring serangga dan D-vac (alat penyedot serangga) di lahan padi Desa Jabon, Kecamatan Mojoanyar, Kabupaten Mojokerto. Selanjutnya dilakukan identifikasi berdasarkan karakter morfologi dan dikelompokkan per masing-masing jenis. Selanjutnya dilakukan aklimatisasi dalam rangka adaptasi terhadap lingkungan baru dengan cara menempatkannya di sangkar serangga ukuran 100 x 50 x 75 cm per masing-masing jenis. Di dalam sangkar telah diletakkan persemaian tanaman padi umur 10-20 hss dan diberi pakan wereng batang coklat. Coccinellidae dipelihara hingga mampu beradaptasi dan siap untuk digunakan dalam uji respons fungsional. Coccinellidae yang digunakan untuk uji respons fungsional adalah fase imago. Coccinellidae yang akan digunakan untuk uji respons fungsional akan dipuasakan dengan memindahkan ke sangkar tanpa pakan selama 24 jam.



Gambar 1. Lima spesies Coccinellidae uji. 1. *Micraspis lineata*, 2. *Micraspis discolor*, 3. *Cheilomenes sexmaculata*, 4. *Coccinella transversalis* dan 5. *Coelophora inaequalis*.

Pelaksanaan Uji Predasi dan Respons Fungsional

Pengujian dilakukan dengan menggunakan sangkar uji yang terbuat dari plastik mika PVC berbentuk tabung dengan tinggi 35 cm dan diameter 10 cm serta diberi tanaman padi yang ditanam di pot kecil sebanyak 3 tanaman padi per sangkar. Setiap sangkar uji diinfestasikan WBC dengan 5 varian kepadatan populasi yaitu kepadatan 3, 6, 9, 12 dan 15 ekor mangsa/sangkar. Setiap perlakuan diulang 3 kali.



Gambar 2. Sangkar uji respons fungsional (Ø 10 cm, ↑ 35 cm)

Pelaksanaan uji dilakukan dengan menginfestasikan 1 ekor kumbang Coccinellidae ke dalam sangkar uji yang sebelumnya telah dipuaskan selama 24 jam dengan tujuan agar setelah diinfestasikan Coccinellidae tersebut langsung dapat memangsa wereng batang coklat. Setiap mangsa yang dimakan diganti dengan mangsa yang baru. Selanjutnya dilakukan pengamatan jumlah WBC yang dimangsa dan dicatat setiap satu jam selama 48 jam.

Variabel Pengamatan

Kemampuan memangsa dan laju pemangsaan

Pengamatan kemampuan memangsa dilakukan dengan menghitung jumlah total WBC yang dimangsa dari masing-masing perlakuan kepadatan mangsa selama 48. Sedangkan laju pemangsaan yang mengukur kemampuan predator dalam mengurangi populasi mangsa, dilakukan dengan menghitung jumlah WBC yang dimangsa oleh satu individu predator dalam satuan waktu tertentu (ekor/jam).

Attack rate dan handling time

Attack rate (a) atau laju serangan adalah parameter dalam respons fungsional yang menggambarkan kemampuan predator dalam menemukan, menyerang, dan memulai proses pemangsaan terhadap mangsa per satuan waktu ($\text{predator}^{-1} \cdot \text{mangsa}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}$). Sedangkan *Handling time* (h) atau waktu penanganan adalah waktu yang diperlukan predator untuk menangkap, mematikan, memakan, dan mencerna satu ekor mangsa sebelum dapat melakukan serangan berikutnya yang diukur dalam satuan (jam/mangsa).

Analisis data

Kemampuan memangsa dan laju pemangsaan Coccinellidae terhadap WBC dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA). Jika terdapat perbedaan antar perlakuan dilanjutkan dengan uji Tukey dengan tingkat kesalahan pada taraf 5%. Data diolah dengan aplikasi *IBM SPSS Statistic 23*. Data *attack rate* dan *handling time* diperoleh dari analisis model *fitting* menggunakan model *Holling Disc Equation* tipe II dengan *global fitting* pada R studio.

Rumus *Holling Disc Equation* tipe II (Holling, 1966; Hidayat *et al.*, 2021):

$$Na = \frac{a T Nt}{(1+a T h Nt)}$$

Keterangan:

- Na : Jumlah mangsa yang dimangsa
 a : laju serangan (*attack rate*) adalah proporsi mangsa yang ditemukan oleh predator per satuan waktu pencarian mangsa
 T : lamanya mangsa tersedia untuk diserang/dimangsa
 Th : waktu yang diperlukan predator untuk menangani mangsa (*handling time*)
 Nt : populasi awal mangsa

Tipe respons fungsional lima spesies Coccinellidae terhadap wereng batang coklat, dianalisis berdasarkan data jumlah mangsa yang dimangsa pada berbagai tingkat kepadatan mangsa. Tahapan dimulai dengan memodelkan hubungan antara kepadatan mangsa (Nt) dan jumlah mangsa yang dikonsumsi (Na) menggunakan tiga pendekatan regresi: linier, logaritmik, dan kuadratik. Selanjutnya, dilakukan fitting model biologis berdasarkan rumus Holling Tipe II untuk menghitung parameter *attack rate* (a) dan *handling time* (Th) masing-masing predator. Nilai koefisien determinasi (R^2) dari tiap model dihitung untuk mengevaluasi kecocokan model terhadap data observasi. Model dengan nilai R^2 tertinggi dianggap paling sesuai, dan digunakan sebagai dasar untuk menentukan tipe respons fungsional (Tipe I, II, atau III). Analisis tipe respons fungsional dilakukan dengan fitting model respons fungsional pada R studio.

Analisis dari masing-masing predator Coccinellidae dilakukan dengan perhitungan metode *Holling Disc Equation* (Holling, 1959; Donnelly & Phillips, 2001; Dawes & Souza, 2013).

$$\begin{aligned} \text{Tipe I} & : Na = a T Nt \\ \text{Tipe II} & : Na = \frac{a T Nt}{(1+a Th Nt)} \\ \text{Tipe III} & : Na = Nt [1 - \exp(-a\{T - Th Na\})] \end{aligned}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kemampuan memangsa dan laju pemangsaan Coccinellidae terhadap WBC

spesies Coccinellidae yang diuji kemampuan memangsa terhadap wereng batang coklat menunjukkan bahwa terdapat variasi kemampuan memangsa antar spesies selama waktu pengamatan 48 jam pada tingkat populasi mangsa yang berbeda. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan populasi mangsa berkontribusi terhadap peningkatan jumlah individu WBC yang dimangsa.

Tabel 1. Kemampuan memangsa Coccinellidae terhadap WBC pada kerapatan populasi mangsa yang berbeda selama 48 jam

Populas i Mangsa	Jumlah WBC yang dimangsa oleh predator setelah 48 jam (Rerata ± SD)					P- valu e
	<i>Micraspi s lineata</i>	<i>Micraspi s discolor</i>	<i>Cheilomenes sexmaculat a</i>	<i>Coccinella transversali s</i>	<i>Coelophor a inaequalis</i>	
3	2,33 ± 1,15 b	1,33 ± 0,58 c	0,67 ± 0,58 d	3,00 ± 0,00 a	1,00 ± 0,00 cd	0,006*
6	2,33 ± 1,15 b	1,67 ± 0,58 bc	1,67 ± 0,58 bc	3,67 ± 0,58 a	0,67 ± 0,58 c	0,001*
9	4,33 ± 1,53 b	2,67 ± 0,58 bc	2,33 ± 0,58 bc	5,00 ± 0,00 a	1,33 ± 0,58 c	0,002*
12	4,67 ± 0,58 ab	2,33 ± 0,58 c	2,67 ± 1,15 bc	5,33 ± 2,08 a	2,67 ± 0,58 c	0,030*
15	5,67 ± 0,58 b	3,00 ± 1,00 bc	2,67 ± 1,53 c	8,67 ± 1,53 a	1,67 ± 0,58 c	0,000*

Keterangan:

P-value * dalam satu baris menunjukkan terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$) antar spesies predator pada perlakuan populasi mangsa tersebut. Kode huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata antar spesies berdasarkan uji Tukey HSD pada taraf nyata 5%.

Berdasarkan hasil analisis kemampuan memangsa selama 48 jam, diketahui bahwa terdapat perbedaan signifikan dalam kemampuan memangsa wereng batang coklat di antara lima spesies Coccinellidae pada berbagai tingkat kepadatan populasi mangsa. Hal ini ditunjukkan oleh nilai signifikansi (P) yang seluruhnya berada di bawah 0,05. Analisis lanjut menggunakan uji Tukey menunjukkan pengelompokan spesies berdasarkan efektivitas pemangsaan, yang diindikasikan melalui perbedaan kode huruf pada masing-masing populasi mangsa.

Dari lima spesies yang diuji, *Coccinella transversalis* konsisten menunjukkan kemampuan memangsa tertinggi (a) dibandingkan spesies lain di semua tingkat populasi mangsa. Hal ini mengindikasikan bahwa bahwa *C. transversalis* merupakan predator WBC dengan efisiensi tinggi dan responss cepat terhadap peningkatan jumlah mangsa. Rata-rata jumlah WBC yang dimangsa terus meningkat seiring kenaikan populasi mangsa, mencapai 8,67 individu pada tingkat populasi 15 ekor, menunjukkan responss fungsional yang kuat terhadap WBC. Pada penelitian lain *Coccinella transversalis* terbukti memiliki efisiensi pemangsaan yang sangat tinggi dan responss cepat terhadap peningkatan kepadatan mangsa, ditunjukkan oleh kemampuannya memangsa puluhan hingga lebih dari 80 individu hama per hari pada berbagai jenis mangsa seperti *Aphis craccivora*, *Aphis gossypii*, dan *Bemisia tabaci*, sehingga spesies ini dikategorikan sebagai predator generalis yang sangat aktif dan potensial sebagai agen pengendali hayati (Efendi, et al., 2016; Rakshith et al., 2021).

Micraspis lineata juga menjadi predator dengan kemampuan memangsa yang cukup tinggi terhadap WBC meskipun berada dibawah *C. transversalis*. Pada beberapa tingkat populasi mangsa, *M. lineata* menunjukkan perbedaan signifikan dengan spesies lain namun tidak selalu berbeda nyata dari predator yang kurang efektif, sehingga tergolong dalam kelompok menengah (ab) dan (b). Hasil ini selaras dengan laporan bahwa *M. lineata* merupakan salah satu predator yang aktif memangsa WBC di ekosistem sawah, serta didukung oleh kajian tritrofik yang menunjukkan bahwa *M. lineata* berperan dalam interaksi predator mangsa pada sistem padi dengan WBC (Karindah, 2011; Syahrawati, *et al.*, 2025).

Pada populasi mangsa 12 dan 15, pemangsaan oleh *M. lineata* mencapai $4,67 \pm 0,58$ dan $5,67 \pm 0,58$ ekor yang secara statistik lebih tinggi dibandingkan beberapa spesies lain tetapi masih lebih rendah dari *C. transversalis*. Sementara itu, *Micraspis discolor* dan *Cheilomenes sexmaculata* menunjukkan efektifitas kemampuan memangsa yang lebih rendah dan cenderung berada dalam kelompok menengah ke rendah (bc) atau (c). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun keduanya mampu memangsa, efisiensinya lebih terbatas, kemungkinan karena perbedaan perilaku berburu, ukuran tubuh, atau preferensi mangsa sehingga menunjukkan perbedaan yang nyata dengan spesies dominan.

Coelophora inaequalis menjadi predator dengan efektivitas memangsa paling rendah (c) dan (cd) dimana jumlah WBC yang dimangsa tidak meningkat berarti meskipun populasi mangsa meningkat. Dalam hampir semua tingkat populasi, *C. inaequalis* selalu berada di kelompok terbawah. Ini menunjukkan bahwa spesies ini kurang responsif terhadap perubahan populasi mangsa dan mungkin memiliki strategi mencari makan yang berbeda dari spesies lain. Secara keseluruhan, semua spesies menunjukkan peningkatan jumlah pemangsaan seiring kenaikan populasi mangsa, meskipun karakteristik responss tiap spesies berbeda.

Spesies dengan kemampuan memangsa tinggi seperti *C. transversalis* dan *M. lineata* menunjukkan responss tajam terhadap peningkatan populasi mangsa, sedangkan spesies lain menunjukkan pola yang lebih datar atau terbatas. Indikator tersebut menunjukkan bahwa kedua spesies tersebut memiliki potensi sebagai agen pengendali hayati wereng batang coklat yang efisien, terutama pada kondisi populasi hama yang tinggi di lapangan. Sebaliknya, kemampuan pemangsaan yang rendah pada *C. inaequalis* menunjukkan bahwa spesies ini mungkin kurang efektif dalam pengendalian populasi wereng batang coklat.

C. transversalis dan *M. lineata* menunjukkan kemampuan memangsa wereng batang coklat yang lebih tinggi dibandingkan spesies Coccinellidae lainnya karena didukung oleh sejumlah faktor morfologis, fisiologis, dan perilaku. Secara morfologi, kedua spesies ini memiliki ukuran tubuh yang relatif lebih besar serta struktur mandibula yang kuat dan efisien, memungkinkan mereka menangkap dan mengunyah mangsa dengan cepat. Studi morfologi menunjukkan bahwa spesies Coccinellidae dengan bentuk mandibula lebih besar cenderung memiliki kemampuan menangkap dan mengkonsumsi mangsa yang lebih beragam dan lebih besar (Hodek & Honek, 2012).

Tabel 2. Laju pemangsaan Coccinellidae terhadap WBC pada kepadatan populasi mangsa yang berbeda selama 48 jam

Populasi Mangsa	Laju pemangsaan predator terhadap WBC (Rerata ± SD) ekor/jam					P-value
	<i>Micraspis lineata</i>	<i>Micraspis discolor</i>	<i>Cheilomenes sexmaculata</i>	<i>Coccinella transversalis</i>	<i>Coelophora inaequalis</i>	
3	0,049±0,024 ab	0,028±0,012 b	0,014±0,012 b	0,063±0,000 a	0,021±0,000 b	0,006*
6	0,049±0,024 ab	0,035±0,012 b	0,035±0,012 b	0,076±0,012 a	0,014±0,012 b	0,007*
9	0,090±0,031 ab	0,056±0,012 b	0,049±0,012 b	0,104±0,000 a	0,028±0,012 c	0,002*
12	0,097±0,012 ab	0,049±0,012 b	0,056±0,024 b	0,111±0,043 a	0,056±0,012 a	0,030*
15	0,118±0,012 b	0,063±0,020 bc	0,056±0,031 bc	0,181±0,031 a	0,035±0,012 c	0,000*

Keterangan:

P-value * dalam satu baris menunjukkan terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$) antar spesies predator pada perlakuan populasi mangsa tersebut. Kode huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata antar spesies berdasarkan uji Tukey HSD pada taraf nyata 5%.

Dalam hal laju pemangsaan, *C. transversalis* tetap menjadi predator dengan laju pemangsaan tertinggi pada setiap kepadatan populasi. Berdasarkan hasil analisis statistik menggunakan ANOVA dan uji Tukey HSD menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar spesies predator dalam hal laju pemangsaan terhadap WBC pada berbagai tingkat kepadatan populasi mangsa yang ditunjukkan oleh nilai signifikansi (P) di bawah 0,05. Namun signifikansi antar spesies predator yang bervariasi tergantung kepadatan mangsa.

C. transversalis menjadi predator dengan laju pemangsaan tertinggi di seluruh tingkat kepadatan populasi. Pada kepadatan mangsa rendah sejumlah 3 ekor, *Coccinella transversalis* menunjukkan laju pemangsaan tertinggi 0,063 ekor/jam dan secara statistik berbeda nyata dari *Cheilomenes sexmaculata* dan *Coelophora inaequalis* pada kelompok (b). Sedangkan *Micraspis lineata* dan *Micraspis discolor* berada dalam kelompok (ab) yang artinya tidak berbeda nyata dari keduanya maupun dari *C. transversalis*. Hal ini menunjukkan bahwa pada kepadatan rendah, respon pemangsaan antar predator masih relatif homogen, namun *C. transversalis* cukup menonjol. Saat populasi mangsa meningkat menjadi 6 ekor, pola yang mirip tetap terjadi dimana *C. transversalis* tetap mendominasi dengan laju pemangsaan 0,076 ekor/jam dan berada dalam kelompok (a), berbeda nyata dari semua spesies lain yang masuk ke kelompok (b) kecuali *M. lineata* (ab). Ini mengindikasikan bahwa

kemampuan pemangsaan *C. transversalis* lebih responsif terhadap peningkatan jumlah mangsa dibandingkan predator lain.

Pada kepadatan populasi mangsa yang semakin tinggi (9, 12 dan 15 ekor) perbedaan semakin tajam namun *C. transversalis* tetap menunjukkan laju tertinggi. Pada kepadatan populasi mangsa tertinggi 15 ekor, *C. transversalis* tetap menunjukkan laju tertinggi secara signifikan (0,181 ekor/jam) dan berada dalam kelompok (a) diikuti oleh *M. lineata* (0,118 ekor/jam) pada kelompok (b). Sedangkan *M. discolor* dan *C. sexmaculata* berada dalam kelompok (bc) menunjukkan bahwa mereka tidak berbeda nyata dari *M. lineata* (b) maupun *C. inaequalis*, yang menempati kelompok (c) dengan laju pemangsaan terendah (0,035 ekor/jam). Distribusi notasi ini menggambarkan respon pemangsaan yang sangat dipengaruhi oleh spesies dan kapasitas adaptasi terhadap kelimpahan mangsa.

Secara umum, laju pemangsaan lima spesies kumbang Coccinellidae predator menunjukkan tren peningkatan seiring bertambahnya populasi mangsa, meskipun pola peningkatan tersebut bervariasi antar spesies. *Coccinella transversalis* secara konsisten menunjukkan laju pemangsaan tertinggi dibandingkan spesies lain, dimulai dari 0,063 ekor/jam pada populasi mangsa 3, hingga mencapai 0,181 ekor/jam saat populasi mangsa 15. Hal ini menunjukkan kemampuannya dalam meningkatkan aktivitas pemangsaan saat ketersediaan mangsa bertambah, yang mencerminkan efisiensi pencarian dan konsumsi mangsanya. *Micraspis lineata* juga menunjukkan peningkatan signifikan dari 0,049 ekor/jam pada populasi 3 hingga 0,118 ekor/jam pada populasi 15, yang menjadikannya spesies dengan laju pemangsaan tertinggi kedua.

Micraspis discolor dan *Cheilomenes sexmaculata* menunjukkan peningkatan yang lebih moderat dengan nilai peningkatan dari 0,028 menjadi 0,063 ekor/jam untuk *M. discolor*, sementara *C. sexmaculata* dari 0,014 menjadi 0,056 ekor/jam. Nilai standar deviasi yang relatif kecil pada keduanya menunjukkan kestabilan perilaku pemangsaan namun tidak cukup agresif. Sedangkan spesie *Coelophora inaequalis* menunjukkan fluktuasi yang tidak konsisten, bahkan laju pemangsaannya menurun pada populasi mangsa tertinggi, dari 0,056 (pada populasi 12) menjadi 0,035 ekor/jam (pada populasi 15). Hal ini mungkin menunjukkan adanya kejenuhan atau keterbatasan dalam kapasitas pemangsaan pada tingkat kepadatan mangsa yang tinggi.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa spesies predator memiliki kapasitas berbeda dalam merespon peningkatan populasi mangsa, dan hal ini dapat dijadikan dasar untuk memilih spesies yang paling efektif sebagai agen pengendali hayati terhadap WBC, dengan *C. transversalis* dan *M. lineata* menunjukkan potensi tinggi sebagai predator pengendali WBC secara alami. *C. transversalis* secara konsisten menunjukkan kapasitas pemangsaan tertinggi pada seluruh tingkat kepadatan mangsa, menjadikannya kandidat paling potensial dalam pengendalian hayati WBC. Sedangkan *M. lineata* menunjukkan performa yang stabil dan kompetitif terutama pada populasi menengah hingga tinggi. Sebaliknya, *C. inaequalis* cenderung memiliki laju pemangsaan paling rendah dan berada dalam kelompok terbawah pada populasi

menengah hingga tinggi, mengindikasikan kapasitas yang lebih rendah dalam eksploitasi mangsa saat populasi mangsa melimpah.

Kemampuan memangsa dan laju pemangsaan yang tinggi terhadap WBC oleh *C. transversalis* dan *M. lineata* sangat berkaitan erat dengan karakter spesies tersebut. *C. transversalis* dikenal sebagai predator aktif yang bergerak cepat dan memiliki kemampuan visual yang baik untuk mendeteksi mangsa, sementara *M. lineata* cenderung memiliki strategi pemangsaan yang oportunistik menggabungkan strategi aktif dan menunggu dengan bergerak antar tanaman dan permukaan daun bawah, yang merupakan tempat favorit WBC (Shanker *et al.*, 2018). Keduanya memiliki waktu respons yang cepat terhadap kehadiran mangsa dan agresivitas tinggi saat memangsa. Selain itu, keduanya juga merupakan predator yang telah beradaptasi dengan baik di ekosistem pertanaman padi, sehingga memiliki efektivitas tinggi dalam memanfaatkan ketersediaan mangsa. Kombinasi karakteristik ini menjadikan *C. transversalis* dan *M. lineata* sebagai spesies yang sangat potensial dalam pengendalian hayati terhadap populasi WBC di lahan sawah.

Attack rate (a) dan Handling time (Th)

Dalam studi hubungan antara predator dan mangsa, dua parameter penting yang sering digunakan untuk mengevaluasi efisiensi predator adalah *attack rate (a)* dan *handling time (Th)*. *Attack rate* merupakan ukuran seberapa cepat atau efisien suatu predator dalam menemukan dan menyerang mangsanya dalam suatu periode waktu. Sedangkan *handling time* mengacu pada waktu yang dibutuhkan predator untuk menangkap, membunuh, memakan, dan mencerna satu ekor mangsa sebelum kembali mencari mangsa berikutnya. Semakin tinggi nilai *attack rate* predator, maka semakin besar peluang predator tersebut untuk menemukan mangsa, terutama saat kepadatan mangsa meningkat. Sebaliknya, predator dengan *handling time* yang singkat cenderung mampu memangsa lebih banyak dalam waktu yang terbatas karena proses penanganan setiap mangsa lebih cepat. Kedua parameter ini sangat penting dalam model respons fungsional Holling Tipe II, yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antara laju konsumsi predator dengan kepadatan mangsa.

Dari hasil analisis menggunakan model *Holling Disc Equation* tipe II dengan model *global fitting* pada R studio diperoleh hasil nilai *attack rate* dan *handling time* terhadap WBC untuk masing-masing spesies Coccinellidae predator adalah sebagai berikut.

Tabel 3. Nilai *attack rate (a)* dan *handling time (Th)* Coccinellidae terhadap WBC selama 48 jam

Spesies	Attack Rate (a) ($\text{predator}^{-1} \cdot \text{mangsa}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}$)	Handling Time (Th) (jam/mangsa)
<i>Micraspis lineata</i>	0,6615	0,0798
<i>Micraspis discolor</i>	0,5692	0,2317

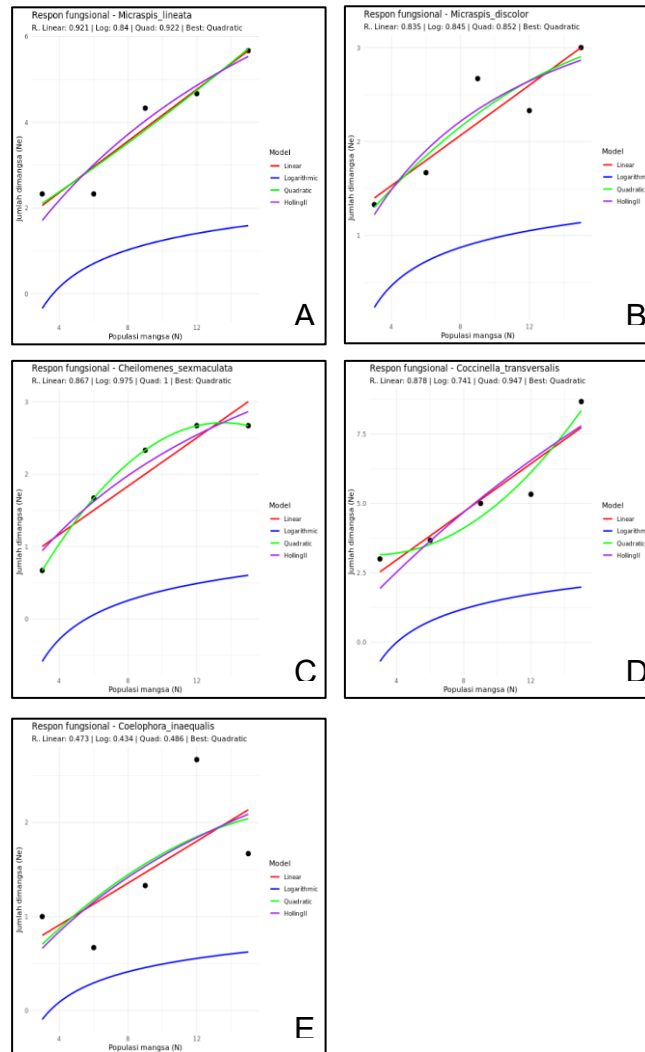
<i>Cheilomenes sexmaculata</i>	0,5692	0,2317
<i>Coccinella transversalis</i>	0,6861	0,0311
<i>Coelophora inaequalis</i>	0,2584	0,2209

Hasil analisis parameter respons fungsional terhadap wereng batang coklat menunjukkan variasi kemampuan lima spesies predator Coccinellidae dalam mencari dan memangsa WBC tercermin dari nilai *attack rate* (a) dan *handling time* (T_h) pada tabel 9. *Attack rate* menggambarkan efektivitas predator dalam menemukan dan menyerang mangsa per satuan waktu, sedangkan *handling time* mencerminkan waktu yang dibutuhkan untuk menangkap, membunuh, dan mengonsumsi satu individu mangsa sebelum dapat menangkap mangsa berikutnya (Holling, 1959; Papanikolaou *et al.*, 2021).

Dari hasil analisis, *Coccinella transversalis* memiliki nilai *attack rate* tertinggi sebesar 0,6861 dan *handling time* terendah yaitu 0,0311, menunjukkan bahwa spesies ini merupakan predator paling efisien dalam menghadapi WBC. Nilai ini menegaskan kemampuannya untuk dengan cepat mendeteksi dan mengonsumsi mangsa, menjadikan spesies tersebut kandidat yang sangat potensial dalam program pengendalian hayati. Spesies lain yang juga memiliki potensi pengendalian terhadap WBC adalah *Micraspis lineata* dengan nilai *attack rate* 0,6615 dan *handling time* 0,0798 yang juga menunjukkan kinerja sangat baik dan respons cepat terhadap keberadaan mangsa, meskipun sedikit lebih lambat dalam memproses mangsanya dibandingkan *C. transversalis*.

Sebaliknya, *Coelophora inaequalis* menunjukkan nilai *attack rate* terendah 0,2584 dan *handling time* cukup tinggi 0,2209 yang mencerminkan keterbatasan spesies tersebut dalam mendeteksi maupun memproses mangsa. *Cheilomenes sexmaculata* dan *Micraspis discolor* menempati posisi menengah, dengan *attack rate* masing-masing sebesar 0,3752 dan 0,5692, serta *handling time* 0,1715 dan 0,2317. Meskipun *M. discolor* memiliki *attack rate* lebih tinggi dari *C. sexmaculata*, waktu yang dibutuhkan untuk memproses mangsa lebih lama, yang dapat membatasi efektivitasnya saat populasi mangsa tinggi.

Nilai parameter *attack rate* dan *handling time* tersebut mengindikasikan bahwa perbedaan strategi pemangsaan dan efisiensi fisiologis antar spesies predator memengaruhi kontribusi mereka dalam pengendalian populasi WBC. Predator dengan *attack rate* tinggi dan *handling time* rendah lebih efektif dalam menekan populasi hama, terutama saat mangsa melimpah (Pervez & Omkar, 2005; Farhadi *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2024). Oleh karena itu, *C. transversalis* dan *M. lineata* dapat diprioritaskan dalam strategi pengendalian WBC karena kombinasi efisiensi pencarian dan kecepatan konsumsi mangsanya yang tinggi.



Gambar 3. Tipe respons fungsional Coccinellidae terhadap WBC

Dari hasil analisis terhadap kemampuan memangsa lima spesies predator famili Coccinellidae terhadap wereng batang cokelat (WBC) berdasarkan pemodelan hubungan antara kepadatan mangsa (N_t) dan jumlah mangsa yang dimangsa (N_a) menggunakan pendekatan regresi, model linier, logaritmik, dan kuadratik serta pendekatan biologis melalui pemodelan Holling Tipe II pada R studio, maka diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) yang bervariasi pada setiap model regresi yang digunakan untuk menentukan tipe respons fungsional masing-masing spesies Coccinellidae. Nilai R^2 tertinggi yang mendekati 1 ditetapkan sebagai tipe respons fungsional spesies dimaksud karena dianggap paling representatif dalam menggambarkan pola konsumsi predator tersebut.

Tabel 4. Tipe respons fungsional Coccinellidae terhadap WBC selama 48 jam berdasarkan analisis regresi linier, logaritmik, dan kuadratik dan nilai R²

Spesies Predator	Persamaan Linear (R ²)	Persamaan Logaritmik (R ²)	Persamaan Kuadratik (R ²)	Tipe Respons fungsional
<i>Micraspis lineata</i>	Na = 1,16 + 0,301*N (R ² = 0,921)	Na = -0,542 + 2,144*log(N) (R ² = 0,840)	Na = 1,33 + 0,252N + 0,003N ² (R ² = 0,922)	Tipe III
<i>Micraspis discolor</i>	Na = 1,00 + 0,133*N (R ² = 0,835)	Na = 0,142 + 1,001*log(N) (R ² = 0,845)	Na = 0,66 + 0,23N - 0,005N ² (R ² = 0,852)	Tipe III
<i>Cheilomenes sexmaculata</i>	Na = 0,502 + 0,167*N (R ² = 0,867)	Na = -0,711 + 1,319*log(N) (R ² = 0,975)	Na = -0,658 + 0,498N - 0,018N ² (R ² = 1,000)	Tipe III
<i>Coccinella transversalis</i>	Na = 1,234 + 0,433*N (R ² = 0,878)	Na = -0,976 + 2,972*log(N) (R ² = 0,741)	Na = 3,404 - 0,187N + 0,034N ² (R ² = 0,947)	Tipe III
<i>Coelophora inaequalis</i>	Na = 0,466 + 0,111*N (R ² = 0,473)	Na = -0,170 + 0,796*log(N) (R ² = 0,434)	Na = 0,136 + 0,206N - 0,005N ² (R ² = 0,486)	Tipe III

Berdasarkan hasil analisis regresi linear, logaritmik, dan kuadratik pada lima spesies predator Coccinellidae terhadap wereng batang coklat, diperoleh bahwa model kuadratik (sigmoid) menunjukkan nilai kecocokan (R²) yang lebih tinggi dibandingkan model lainnya. Persamaan kuadratik pada setiap predator menunjukkan adanya komponen kuadratik (N²) dengan nilai koefisien yang signifikan, sehingga kurva yang terbentuk menyerupai huruf S (sigmoid). Pola ini mengindikasikan bahwa semua spesies predator, yaitu *Micraspis lineata*, *Micraspis discolor*, *Cheilomenes sexmaculata*, *Coccinella transversalis*, dan *Coelophora inaequalis*, memiliki respons fungsional tipe III.

Respons fungsional tipe III ditandai dengan meningkatnya laju konsumsi predator secara lambat pada kepadatan mangsa rendah, kemudian meningkat tajam pada kepadatan menengah, dan akhirnya melandai kembali ketika predator mencapai kejenuhan. Fenomena ini sesuai dengan teori Holling (1959) yang menyatakan bahwa respons fungsional tipe III mencerminkan adanya efek pembelajaran predator, peningkatan efisiensi pencarian mangsa, serta adanya regulasi populasi mangsa pada kepadatan rendah. Dengan kata lain, predator tidak hanya memanfaatkan mangsa

secara pasif, tetapi juga menunjukkan kemampuan adaptif dalam memanfaatkan ketersediaan mangsa.

Penelitian sebelumnya oleh Murdoch & Oaten (1975) menyatakan respons fungsional tipe III merupakan indikator penting dalam menjaga stabilitas ekosistem karena dapat menekan populasi hama pada saat populasinya mulai meningkat, namun tidak memusnahkan pada populasi rendah. Penelitian oleh Sarmiento *et al.* (2007) juga menunjukkan bahwa banyak spesies Coccinellidae seperti *Eriopis connexa* cenderung mengikuti pola tipe III ketika memangsa kutu daun. Hal ini juga dikonfirmasi oleh penelitian Zarghami *et al.*, (2016) yang menunjukkan bahwa predator Coccinellidae dapat menunjukkan tipe III dalam kondisi spesifik disebabkan oleh kemampuan predator dalam menyesuaikan perilaku foraging serta adanya preferensi mangsa pada kepadatan tertentu.

Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bukti bahwa predator dari famili Coccinellidae berperan sebagai agen pengendali hayati yang efektif melalui mekanisme respons fungsional tipe III. Keberadaan Coccinellidae dapat membantu mengendalikan populasi wereng batang coklat secara lebih stabil dalam jangka panjang, sehingga sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai agen pengendali hayati dalam pengelolaan hama terpadu (PHT) karena kemampuannya mengatur dinamika populasi hama secara alami.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa lima spesies Coccinellidae memiliki kemampuan pemangsaan dan respons fungsional yang berbeda terhadap wereng batang coklat. *Coccinella transversalis* dan *Micraspis lineata* merupakan predator paling efektif berdasarkan nilai *attack rate* yang tinggi dan *handling time* yang rendah. Seluruh spesies memperlihatkan pola respons fungsional tipe III yang mengindikasikan bahwa aktivitas pemangsaan meningkat seiring kenaikan kepadatan mangsa dan memberikan stabilitas regulasi populasi hama. Kedua spesies tersebut berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai agen pengendali hayati dalam pengelolaan WBC pada agroekosistem padi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, K.S., Majeed, M.Z., Rafi, M.A., Sellami, F. & Afzal, M. (2017). Biodiversity and Species Distribution of Coccinellids (Coccinellidae: Coleoptera) in District Sargodha (Punjab), Pakistan. *Pakistan J. Zool.* 49(5), 1749-1759. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/2017.49.5.1749.1759>
- Baehaki, S.E. & Mejaya, I.M.J. (2014). Wereng Cokelat sebagai Hama Global Bernilai Ekonomi Tinggi dan Strategi Pengendaliannya. *Iptek Tanaman Pangan*, 9(1), 1-12. <https://repository.pertanian.go.id/server/api/core/bitstreams/f38d20b1-d370-4bae-a727-40e6d9b70fe8/content>
- Beardsell, A., Gravel, D., Berteaux, D., Gauthier, G., Clermont, J., Careau, V., Lecomte, N., Juhasz, C.C., Boutin, P.R. & Bêty, J. (2021). Derivation of Predator Functional

- Responses Using a Mechanistic Approach in a Natural System. *Front. Ecol. Evol.*, 9, 630944. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.630944>
- Dawes, J.H.P. & Souza, M.O. (2013). A derivation of Holling's type I, II and III functional responses in predator-prey systems. *Journal of Theoretical Biology*, 327, 11-22. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2013.02.017>
- De Clercq, P., Mohaghegh, J., & Tirry, L. (2000). Effect of Host Plant on the Functional Response of the Predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Biological Control*, 18, 65-70. <https://doi.org/10.1006/bcon.1999.0808>
- Dick, J.T.A., Alexander, M.E., Jeschke, J.M., Ricciardi, A., Maclsaac, H.J., Robson, T.B., Kumschick, S., Weyl, O.L.F., Dunn, A.M., Hatcher, M.J., Paterson, R.A., Farnsworth, K.D. & Richardson, D.M. (2014). Advancing impact prediction and hypothesis testing in invasion ecology using a comparative functional response approach. *Biol Invasions*, 16, 735-753. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10530-013-0550-8>
- Dirgayana, I.W., Supartha, I.W. & Wijaya, I.N. (2021). Uji Pemangsaan dan Tanggap Fungsional Predator *Chysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Crysoptidae) Terhadap *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero (Hemiptera: Pseudococcidae). *Agrotrop: Journal on Agriculture Science*, 11(1), 76-84. <https://doi.org/10.24843/AJoAS.2021.v11.i01.p08>
- Donnelly, B.E. & Phillips, T.W. (2001). Functional Response of *Xylocoris flavipes* (Hemiptera: Anthocoridae): Effects of Prey Species and Habitat. *Environmental Entomology*, 30(3), 617-624. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-30.3.617>
- Dupke, C., Peters, A., Morellet, N., & Heurich, M. (2021). Holling meets habitat selection: functional response of large herbivores revisited. *Movement Ecology*, 9(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s40462-021-00282-6>
- Efendi, S., Yaherwandi, & Nelly, N. (2016). Studi preferensi dan tanggap fungsional *Menochilus sexmaculatus* dan *Coccinella transversalis* pada beberapa mangsa yang berbeda. *Pros Semnas Masy Biodiv Indon* 2(2), 125-131. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m020201>
- Farhadi, R., Allahyari, H., & Juliano, S.A. (2010). Functional Response of Larval and Adult Stages of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) to Different Densities of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae). *Environ. Entomol.* 39(5), 1586-1592. <https://doi.org/10.1603/en09285>
- Ginting, T.Y., Bakti, D. & Marheni. (2017). daya Predasi dan Respons Fungsional *Curinus Coeruleus* Mulsant (Coleoptera; Coccinellidae) terhadap *Paracoccus marginatus* Williams dan Granara de Willink (Hemiptera;Pseudococcidae) di Rumah Kaca. *Jurnal Pertanian Tropik*. 4(3), 96- 202. <http://dx.doi.org/10.32734/jpt.v4i3.3093>
- Hamid, M.F., Hameed, Y., Sarmad, M., Abbas, K., Shahzaib, M., Zakaria, M., & Zaka, S.M. (2020). Functional Response of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) to Different Species of Aphids (Hemiptera: Aphididae). *Journal of The Kansas Entomological Society*, 93(4), 313-326. <https://doi.org/10.2317/0022-8567-93.4.313>

- Hasan, Y.A., & Alebraheem, J. (2015). Functional and numerical response in prey-predator system. *AIP Conf. Proc.* 1651, 3-11. <https://doi.org/10.1063/1.4914425>
- Hidayat, P., Tambunan, V.B. & Putirama, K.D. (2021). Tanggap fungsional predator *Menochilus sexmaculatus* (Fabricius) dan *Micraspis lineata* (Thunberg) (Coleoptera: Coccinellidae) terhadap kutu kebul *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) dan kutu daun *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Jurnal Entomologi Indonesia*, 18(3), 199-206. <https://doi.org/10.5994/jei.18.3.199>
- Hodek, I. Van Emden, H.F. & Honěk. (2012). Ecology and Behaviour of The Ladybird Beetles (Coccinellidae). Willey-Blackwell. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118223208>
- Holling, C.S. (1959). The Components of Predation as Revealed by a Study of Small-Mammal Predation of The European Sawfly. *The Canadian Entomologist*, 91, 293-320. <https://doi.org/10.4039/Ent91293-5>
- Holling, C.S. (1959). Some Characteristics of Simple Types of Predation and Parasitism. *The Canadian Entomologist*, 91(7), 385-398. <https://doi.org/10.4039/Ent91385-7>
- Holling, C.S. (1961). Principles of Insect Predation. *Annu. Rev. Entomol.*, 6, 163-182. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.06.010161.001115>
- Holling, C.S. (1966). The Functional Response of Invertebrate Predators to Prey Density. *The Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 98, 5-86. <https://doi.org/10.4039/entm9848fv>
- Iamba, K. & Dono, D. (2021). A Review on Brown Planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål), a Major Pest of Rice in Asia and Pacific. *Asian Journal of Research in Crop Science*, 6(4), 7-19. <https://doi.org/10.9734/ajrcs/2021/v6i430122>
- Jeevanandham, N., Raman, R., Ramaiah, D., Senthilvel, V., Mookaiah, S., & Jegadeesan, R., (2022). Rice: *Nilaparvata lugens* Stal interaction—current status and future prospects of brown planthopper management. *Journal of Plant Diseases and Protection, Springer*, October 2022. <https://doi.org/10.1007/s41348-022-00672-x>
- Kalinkat, G., Schneider, F.D., Digel, C., Guill, C., Rall, B.C., Brose, U. (2013). Body masses, functional responses and predator-prey stability. *Ecol Lett.* 16(9), 1-9. <https://doi.org/10.1111/ele.12147>
- Karindah, S. (2011). Predation of Five Generalist Predators on Brown Planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål). *Jurnal Entomologi Indonesia*. 8(2), 55-62. https://www.researchgate.net/publication/321971155_Predation_of_Five_Generalist_Predators_on_Brown_Planthopper_Nilaparvata_lugens_Stal
- Kundoo, A.A. & Khan, A.A. (2017). Coccinellids as biological control agent of soft bodied insect: A review. *Jurnal entomology and Zoology Studies*, 5(5), 1362-1373. [5-5-24-374.pdf \(entomoljournal.com\)](https://entomoljournal.com/5-5-24-374.pdf)
- Larson, D.J. 2013. Key to lady beetles (Coleoptera: Coccinellidae) of Saskatchewan. *Ent. Soc. Saskatchewan*. 37 pp. <https://bugguide.net/node/view/2249089>

- Li, C., Yu, J., Mao, R., Kang, K., Xu, L & Wu, M. (2024). Functional and Numerical Responses of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) to *Rhopalosiphum nymphaeae* (Hemiptera: Aphididae) and Their Potential for Biological Control. *Insects*, 15(9), 633. <https://doi.org/10.3390/insects15090633>
- Murdoch, W.W. & Oaten, A. (1975). Predation and population stability. *Advances in Ecological Research*, 9, 1-131 [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60288-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60288-3)
- Nelly, N., Trizelia & Syuhadah Q. (2012). Tanggapan Fungsional *Menochilus sexmaculatus fabricius* (Coleoptera: Coccinellidae) terhadap *Aphis gossypii* (Glover) (Homoptera: Aphididae) pada Umur Tanaman Cabai Berbeda. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 9(1), 23-31. <http://dx.doi.org/10.5994/jei.18.3.199>
- Papanikolaou, N.E., Kypraios, T., Moffat, H., Fantinou, A., Perdikis, D.P. & Drovandi, C. (2021). Predators' Functional Response: Statistical Inference, Experimental Design, and Biological Interpretation of the Handling Time. *Front. Ecol. Evol.*, 9, 740848. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.740848>
- Pervez, A. & Omkar. (2005). Functional responses of coccinellid predators: An illustration of a logistic approach. *Journal of Insect Science*, 5(5), 1-6. <https://doi.org/10.1093/jis/5.1.5>
- Price, P.W., Denno, R.F., Eubanks, M.D., Finke, D.L. & Kaplan, I. (2011). Prey and predator interactions, in *Insect Ecology Behavior, Populations and Communities*. Cambridge University Press, pp. 268-303. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511975387.011>
- Puspito, A.N., Rozzita, N., Tigara, M.R.N., Putra, S.I.D., Purnamasari, I., Hartatik, S., & Ubaidillah, M., (2023). Molecular screening of local Indonesian rice to identified resistant varieties against brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) attacks. *Biodiversitas*, 24(10), 5503-5512. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d241032>
- Rakshith, H.S., Suroshe, S.S., Chander, S., Bhagyasree, S.N., & Venkanna, Y. (2021). Bionomics of transverse ladybird beetle, *Coccinella transversalis* on cowpea aphid, *Aphis craccivora*. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*. 91(9), 1368-1372. <https://doi.org/10.56093/ijas.v91i9.116091>
- Shah, M.A. & Khan, A.A. (2013). Functional Response - A Function of Predator and Prey Species. *The Bioscan*, 8(3), 751-758. <https://www.researchgate.net/publication/256484195>
- Shanker, C., Mohan, M., Sampathkumar, M., Lydia, C. & Katti, G. (2013). Functional significance of *Micraspis discolor* (F.) (Coccinellidae: Coleoptera) in rice ecosystem. *J. Appl. Entomol.* 137, 601-609. <https://doi.org/10.1111/jen.12035>
- Shanker, C., Sampathkumar, M., Sunil, V., Amudhan, S., Sravanthi, G., Jhansirani, B., Poorani, J., & Katti, G. (2018). Biodiversity and predatory potential of coccinellids of rice ecosystems. *Journal of Biological Control*, 32(1), 25-30. <https://doi.org/10.18311/jbc/2018/17912>

- Shanker, C., Chintagunta, L., Muthusamy, S., Vailla, S., Srinivasan, A. & Katti, G. (2018). Flora surrounding rice fields as a source of alternative prey for coccinellids feeding on the pests of rice. *Eur. J. Entomol.*, 115, 364-371. <https://www.eje.cz/pdfs/eje/2018/01/36.pdf>
- Snyder, W.E. (2009). Coccinellids in diverse communities: Which niche fits? *Biological Control*, 51, 323-335. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.05.010>
- Snyder, W.E. (2019). Give predators a complement: Conserving natural enemy biodiversity to improve biocontrol. *Biological control*, 135, 73-82. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.04.017>
- StatsClimat. (2025). Comprehensive Climate Report Mojokerto (Indonesia); Complete statistical analysis of historical climate data with detailed comparison. Diakses pada 15 November 2025. https://statsclimat.com/Asia/Indonesia/report_Mojokerto
- Syahrawati, M., Rinaldi, J., Nelly, N., Hamid, H., Senen, M.A., Badrulisham, S.A., Idris, M.I., & Yaakop, S. Tritrophic interaction between predator, *Verania lineata* – pest, *Nilaparvata lugens* and host plant, *Oryza sativa* from four provinces in West Sumatra, Indonesia: toward better pest management. *Arthropod-Plant Interactions*. 19(92), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11829-025-10199-1>
- Weber, D.C. & Lundgren, J.G. (2009). Assessing the trophic ecology of the Coccinellidae: Their roles as predators and as prey. *Biological Control*, 51, 199-214. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.05.013>
- Yanuwiadi, B. & Grahadi, R. (2022). Genetic Differentiation of Brown Planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) Populations in Asia. *Journal of Tropical Life Science*, 12(2), 277-282. <http://dx.doi.org/10.11594/jtls.12.02.15>
- Zahoor, M.K. Suhail, A., Iqbal, J., Zulfaqar, Z. & Anwar, M. (2003). Biodiversity of Predaceous Coccinellids and Their Role as Bioindicators in an Agroecosystem. *Int. J. Agri. Biol.*, 5(4), 555-559. https://www.researchgate.net/publication/251950535_Biodiversity_of_Predaceous_Coccinellids_and_Their_Role_as_Bioindicators_in_an_Agroecosystem
- Zarghami, S., Mossadegh, M.S., Kocheili, F., Allahyari, H., & Rasekh A. (2016). Functional Responses of *Nephus arcuatus* Kapur (Coleoptera: Coccinellidae), the Most Important Predator of Spherical Mealybug *Nipaecoccus viridis* (Newstead). *Hindawi Publishing Corporation. Psyche*. Vol2016, Article ID 9417496. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9417496>