

<https://doi.org/10.17576/serangga-2023-2803-14>

BARKOD DNA DAN REKOD PERTAMA *Telenomus remus* (HYMENOPTERA: SCELIONIDAE) SEBAGAI PARASITOID TELUR ULAT RATUS, *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) DARI SARAWAK, MALAYSIA

[DNA BARCODE AND THE FIRST RECORD OF *Telenomus remus* (HYMENOPTERA: SCELIONIDAE) AS EGG PARASITOID OF FALL ARMYWORM, *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) FROM SARAWAK, MALAYSIA]

**Muhamad Azmi Mohammed^{1*}, Ameyra Aman-Zuki¹, Nasrin Adzmuri¹,
Marthiuz Ghany Buang¹ & Salmah Yaakop²**

¹Jabatan Sains Tanaman,
Fakulti Sains Pertanian dan Perhutanan,
Universiti Putra Malaysia Kampus Bintulu Sarawak (UPMKB),
Jalan Nyabau,
97008 Bintulu, Sarawak, Malaysia.

²Pusat Sistematiik Serangga,
Jabatan Sains Biologi dan Bioteknologi,
Fakulti Sains dan Teknologi,
Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM),
43600 Bangi, Selangor, Malaysia.

*Email Pengarang: mm_azmi@upm.edu.my

Hantar: 21 Oktober 2023; Terima: 3 November 2023

ABSTRAK

Penularan ulat ratus atau *Fall Armyworm* (FAW), *Spodoptera frugiperda*, ke atas tanaman jagung seluruh dunia menjadikan spesies ini sebagai satu ancaman utama kepada tanaman dagangan yang penting. Malaysia tidak terkecuali diserang oleh FAW dan data berkaitan musuh semulajadi FAW di negara ini, termasuk di Sarawak masih terhad. Oleh itu, kajian ini bertujuan untuk mengenalpasti spesies parasitoid yang memparasit telur FAW bagi membangunkan kaedah pengawalan yang terbaik terhadap FAW dan menyediakan barkod DNA bagi spesies yang berasosiasi dengan penanaman jagung di Bintulu, Sarawak. Sampel larva dan telur FAW dikumpul dari kawasan penanaman jagung di Kuala Tatau, Bintulu, Sarawak dari Januari hingga Jun 2022. Pemeliharaan sampel dijalankan sehingga larva FAW dan parasitoid muncul daripada telur yang dipelihara. Tiga sampel parasitoid dan satu sampel larva FAW dikenalpasti secara morfologi sebelum menjalani analisis barkod DNA. Barkod DNA berjaya mengenalpasti larva *S. frugiperda* dan parasitoidnya iaitu *Telenomus remus* (Nixon 1937) dengan keyakinan >99%. Hasil kajian ini melaporkan penemuan pertama parasitoid *T. remus* natif dari Sarawak yang wajar diberi perhatian secara holistik oleh pengkaji serangga kerana spesies ini berpotensi untuk dibangunkan sebagai agen kawalan biologi yang mampan bagi mengekang perebakan ulat ratus ini dari terus membawa kerosakan pada industri pertanian di Sarawak.

Kata kunci: Pengecaman, penyengat parasitoid, FAW, jagung, Borneo

ABSTRACT

The spread of the Fall Armyworm (FAW), *Spodoptera frugiperda*, on corn crops worldwide makes this species a major threat to economically important crops. Malaysia is no exception to being attacked by FAW, and data related to natural enemies of FAW in this country, including in Sarawak, is still limited. Therefore, this study aims to identify the parasitoid species that parasitize FAW eggs to develop the best control method on FAW and provide DNA barcodes for species associated with corn cultivation in Bintulu, Sarawak. FAW larvae and egg samples were collected from corn-growing areas in Kuala Tatau, Bintulu, Sarawak from January to June 2022. The samples were reared until larvae and parasitoids emerged from the eggs. Three parasitoid samples and one FAW larva were selected after being identified morphologically prior DNA barcode analysis. The DNA barcoding was successfully identified *S. frugiperda* larva and the parasitoid *Telenomus remus* (Nixon 1937) with >99% confidence. The results of this study reported the first discovery of native parasitoid *T. remus* from Sarawak that should be given holistic attention by entomologists due to its potential to be developed as a sustainable biological control agent to curb the spread of this invasive fall armyworm from continuing to cause damages to the agricultural industries in Sarawak.

Keywords: Identification, parasitoid wasp, FAW, corn, Borneo

PENGENALAN

Spodoptera frugiperda yang turut dikenali sebagai ulat ratus atau *Fall Armyworm* (FAW), adalah perosak utama bagi tanaman jagung, serta boleh menyerang tanaman lain seperti sekoi, beras, gandum dan kapas. Ia tergolong dalam order Lepidoptera dari famili Noctuidae (Yainna et al. 2022). Berasal dari Amerika, populasi FAW telah merebak ke pelusuk dunia termasuk Afrika, Asia dan Australia sehingga menyebabkan kerosakan yang signifikan kepada hasil pengeluaran jagung dunia (Makgoba et al. 2021; Qi et al. 2021). FAW telah mula dilaporkan menyerang tanaman jagung di Malaysia bermula tahun 2019 di Semenanjung Malaysia dan Borneo yang melibatkan daerah Changlun, Kedah (Jamil et al. 2021) dan di Bintulu, Sarawak (Mohammed et al. 2021). Perosak ini terkenal dengan tabiat pemakanan yang rakus dan berkeupayaan untuk membiak dengan cepat, menjadikannya ancaman yang serius kepada keterjaminan makanan (Yainna et al. 2022).

Kitaran hidup FAW terdiri daripada beberapa peringkat: telur, larva (ulat), pupa dan dewasa (Jamil et al. 2022). Rama-rama akan bertelur secara berkelompok pada daun tumbuhan perumah. Apabila telur menetas, larva memakan daun dan juga boleh menerobos masuk ke dalam struktur pembiakan tumbuhan, seperti tongkol dan putik jagung. Larva mengalami beberapa peringkat salin kulit semasa ia membesar dan larva instar akhir adalah yang paling membawa kerosakan (Kona et al. 2021). FAW boleh menyebabkan defoliasi daun yang meluas dan kehilangan hasil tongkol jagung jika tidak dikawal (Matova et al. 2020). Selain daripada kawalan kimia, penggunaan agen kawalan biologi yang lebih mampan dalam mengawal populasi perosak ini di lapangan semakin mendapat perhatian di peringkat pengkaji dan industri. Antara agen kawalan biologi yang telah berjaya dibangunkan dalam kajian terdahulu bagi mengatasi masalah ini adalah seperti penyengat braconid *Chelonus insularis* di Amerika Syarikat (Kenis 2023), kesing *Podisus maculiventris* dan *Euthyrhynchus floridanus* serta penyengat *Cotesia marginiventris* (Perier et al. 2022), nematod entomopatogen *Steinernema carpocapsae* (Fallet et al. 2022), kulat entomopatogen *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium pinghaense* (Wu et al. 2022), serta penyengat parasitoid *Microplitis* sp., *Chelonus* sp. dan *Charops* sp. di barat Sumatera, Indonesia (Sari et al. 2022).

Barkod DNA adalah teknik molekul yang digunakan untuk mengenalpasti dan mengelaskan organisma berdasarkan jujukan DNA mereka (Antil et al. 2023). Ia melibatkan proses analisis kawasan DNA yang pendek dan piawai yang dikenali sebagai barkod, yang biasanya berbeza-beza di antara spesies tetapi kekal terpuhara secara relatif melalui perbandingan dalam spesies yang sama (Kress & Erickson 2008). Konsep barkod DNA telah diperkenalkan oleh saintis Kanada iaitu Paul Hebert pada tahun 2003 sebagai pendekatan untuk mengenalpasti dan pemerihalan spesies yang baru. Kawasan barkod yang biasa digunakan untuk teknik ini ialah DNA mitokondria yang dikenali sebagai gen sitokrom oksidase subunit 1 (*COI*) (Rodrigues et al. 2017). Gen ini terdapat dalam kebanyakan organisma eukariotik dan mempamerkan variasi genetik yang mencukupi untuk membezakan di antara spesies (Rodrigues et al. 2017). Walau bagaimanapun, dalam kes tertentu, kawasan DNA lain, seperti DNA ribosom (rDNA) atau kawasan *internal transcribed spacer* (ITS) turut boleh digunakan untuk barkod (Rodrigues et al. 2017). Pendekatan barkod DNA telah terbukti sebagai suatu pendekatan yang berkesan dalam pelbagai bidang, termasuk taksonomi, ekologi, biologi pemuliharaan, dan sains forensik (Chimeno et al. 2019; Huemer & Wieser 2023). Ia membolehkan pengecaman spesies yang pantas dan tepat bagi pelbagai spesies haiwan, termasuk mamalia, burung, reptilia dan serangga, walaupun dalam situasi di mana pengecaman secara morfologi berdepan kekangan atau tidak konklusif (Deagle et al. 2014). Selain itu, barkod DNA turut membantu dalam pemerihalan spesies baharu, memantau kepelbagaian biologi, mengenalpasti spesies invasif asing, menilai ketulenan makanan serta menyiasat pemerdagangan hidupan liar secara haram.

Walaupun pelaporan berkenaan musuh semula jadi untuk memerangi FAW seperti pemangsa dan parasitoid telah dikaji secara meluas di seluruh dunia, maklumat ini masih terhad dan memerlukan penerokaan lanjut khususnya di Sarawak dan umumnya Malaysia. Hasil daripada kajian ini akan menyediakan data asas untuk pembangunan strategi kawalan biologi yang lebih mampan terhadap perosak yang kritikal ini. Oleh itu, objektif kajian ini adalah untuk mengenalpasti spesies parasitoid yang memparasit *S. frugiperda* dengan menyediakan barkod DNA bagi spesies yang berasosiasi dengan penanaman jagung di Bintulu, Sarawak.

BAHAN DAN KAEDAH

Pensampelan FAW dan Parasitoid

Sampel FAW yang terdiri daripada peringkat larva dan kumpulan telur telah dikumpul menggunakan pensampelan secara rawak ringkas (*simple random*) di mana setiap individu boleh menjadi sampel. Pensampelan dijalankan dari Januari 2022 hingga Jun 2022 pada penanaman jagung di Kuala Tatau, bahagian Bintulu, Sarawak. Larva FAW dikumpul daripada tanaman jagung yang dijangkiti serta menunjukkan gejala seperti daun jagung dimakan dan kehadiran *frass* (najis FAW) di kawasan pemakanan. Manakala kelompok telur FAW yang berada di permukaan bawah daun jagung dikumpulkan dengan memotong daun jagung yang terlibat daripada pokok jagung. Sebahagian sampel larva disimpan dalam etanol 80% manakala sebahagian lagi sampel larva serta daun jagung yang mengandungi kelompok telur dibawa ke makmal untuk diternak. Spesimen larva FAW dan kelompok telur disimpan di dalam sangkar pemeliharaan (24.5 cm x 13.5 cm x 13.0 cm) dengan pucuk muda jagung sebagai makanan untuk sampel larva. Persekitaran pemeliharaan ditetapkan pada suhu $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, $70\pm 10\%$ kelembapan relatif, dan 12 jam (cahaya: tanpa cahaya) mengikut Bueno et al. (2010a, 2010b). Sampel kelompok telur FAW yang berwarna sedikit kehitaman daripada warna telur normal yang berwarna kuning cerah memberi gambaran telur FAW tersebut telah diparasit oleh parasitoid. Sampel larva FAW dan parasitoid yang menetas dan muncul daripada kelompok telur dikumpulkan dan disimpan dalam etanol 80%. Larva FAW telah dikenalpasti secara

morfologi merujuk kunci spesies oleh Oliver (1981) dan Polaszek dan Kimani (1990), manakala sampel parasitoid merujuk Nixon (1937) dan Chou (1987). Spesimen yang dikenalpasti diambil foto menggunakan mikroskop digital. Semua spesimen kemudiannya disimpan di dalam repositori Makmal Entomologi, Jabatan Sains Tanaman, Fakulti Sains Pertanian dan Perhutanan, Universiti Putra Malaysia Kampus Bintulu Sarawak untuk rujukan masa hadapan.

Pengekstrakan DNA

Sampel FAW dan parasitoid dibilas terlebih dahulu dengan menggunakan etanol tulen dan air suling untuk membuang bendasing yang boleh menyebabkan pencemaran kepada sampel. Sampel dibiarkan kering sebelum dipindahkan ke tiub emparan 1.5ml yang telah diautoklaf. Pengekstrakan DNA telah dijalankan dengan menggunakan DNeasy Blood & Tissue Kit (QIAGEN, USA) dan mengikuti kaedah pembekuan yang telah dimodifikasi oleh Yaakop et al. (2013) supaya struktur morfologi luaran sampel kekal sempurna. Sejumlah 180µl penimbal ATL dan 20µl proteinase K dimasukkan ke dalam setiap tiub emparan sebelum divorteks dan inkubasi pada suhu 56°C selama 10 min. Kemudian, tiub sampel disimpan selama 48 jam pada suhu -20°C, sebelum diteruskan dengan langkah-langkah yang selanjutnya. Sampel DNA kajian yang telah diekstrak kemudian disimpan di dalam suhu -20°C sebelum digunakan untuk proses yang seterusnya.

Tindak Balas Berantai Polimerase (PCR)

Sampel kajian telah menjalani proses PCR dengan menggunakan kawasan gen sitokrom oksidase subunit I (COI). Pasangan pencetus yang digunakan untuk sampel FAW dan parasitoid adalah LCO1490 dan HCO2198 daripada Folmer et al. (1994). Campuran PCR yang digunakan berjumlah 25µl terdiri daripada 12.5µl penimbal Green Mastermix (Promega, USA), 6.5µl ddH₂O, 4.0µl templat DNA dan 1.0µl untuk setiap pasangan pencetus. Campuran PCR ini adalah sama untuk kedua-dua jenis sampel kajian dengan merujuk Mohammed et al. (2017). Profil PCR yang digunakan bagi kedua-dua sampel kajian adalah 95°C selama 3 min untuk pra-nyahasli, 30 kitaran yang terdiri daripada 95°C selama 30s untuk nyahasli, 47°C selama 1 min untuk penyepuhan dan 72°C selama 30s untuk pemanjangan dan diakhiri dengan pemanjangan akhir bersuhu 72°C selama 10 min. Hasil PCR yang berjaya dihantar ke Apical Scientific Sdn. Bhd. (Serdang, Selangor) bagi tujuan penjujukan DNA.

Penyuntingan Jujukan, Analisis BLAST dan BOLD

Kesemua sampel yang berjaya dijujukan menjalani proses penyuntingan untuk menggabungkan jujukan hadapan dan belakang dengan menggunakan perisian BioEdit ver.7.2.5 (Hall 1999). Jujukan akhir seterusnya melalui analisis *Basic Local Alignment Search Tool* (BLAST) dan *Barcode of Life Data System* (BOLD) (Altschul et al. 1990; Ratnasingham & Hebert 2007) untuk menentukan akauntibiliti jujukan dan mengesahkan spesies melalui kaedah molekul.

HASIL

Analisis Barkod DNA

Sejumlah tiga ekor parasitoid dan seekor larva FAW telah dipilih untuk menjalani pengecaman melalui kaedah barkod DNA. Set data parasitoid terdiri daripada 620 pasangan bes, yang mana daripada jumlah tersebut 619 bes merupakan kawasan terpulihara, satu bes kawasan yang bervariasi, tiada bes parsimoni informatif dan satu bes tunggal. Data larva FAW pula terdiri daripada 620 pasangan bes, dan bilangan kawasan terpulihara, bervariasi, parsimoni informatif dan bes tunggal tidak dapat dihitungkan memandangkan data ulat ratus hanya terdiri daripada satu

jujukan sahaja. Purata untuk komposisi nukleotida bagi set data parasitoid dan FAW adalah seperti dalam Jadual 1.

Jadual 1. Purata komposisi nukleotida bagi set data bagi FAW dan parasitoid *Telenomus remus*

Purata nukleotida (%) / Sampel	A	T	C	G
FAW	29.8	41.1	14.7	14.4
<i>Telenomus remus</i>	35.6	39.6	13.6	11.1

Analisis BLAST dan BOLD

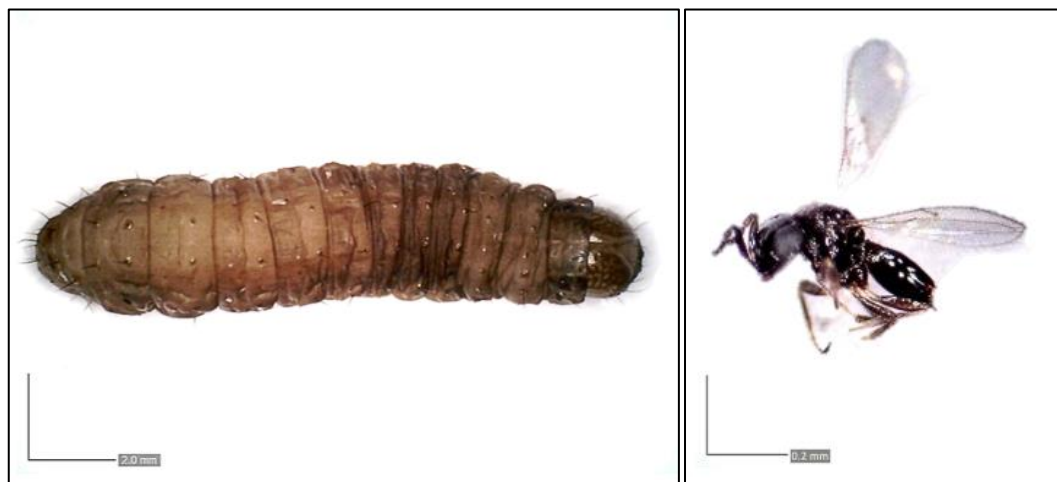
Tiga sampel parasitoid berjaya dikenalpasti sebagai spesies *Telenomus remus* (Nixon 1937) dengan peratusan persamaan sebanyak 99.76-99.83% daripada analisis BLAST dan 99.49-99.83% daripada analisis BOLD. Manakala bagi sampel FAW [*Spodoptera frugiperda* (Smith 1797)] pula, peratusan persamaan sebanyak 99.72% untuk analisis BLAST dan 100% untuk analisis BOLD telah berjaya dicatatkan. Kesemua sampel parasitoid dan FAW yang telah dikenalpasti menerusi analisis BLAST dan BOLD disenaraikan dalam Jadual 2. Gambarfoto habitus untuk sampel dalam kajian ini ditunjukkan dalam Rajah 1.

Analisis Jarak

Berdasarkan jarak genetik daripada kajian ini, nilai kecapahan intra-spesies untuk parasitoid *Telenomus remus* adalah 0.00-0.02. Tiada nilai kecapahan intra-spesies untuk FAW kerana kajian ini hanya menggunakan satu spesimen sahaja. Nilai jarak genetik sampel kajian ditunjukkan dalam Jadual 3.

Jadual 2. Senarai spesies ulat ratus dan parasitoid yang dikumpul daripada ladang jagung di Bintulu dengan nilai peratus identiti dan peratusan persamaan daripada BLAST dan BOLD

No	Kod sampel	Nombor kemasukan NCBI	BLAST						BOLD		
			Spesies	Skor maksimum	Jumlah skor	Liputan pertanyaan	Nilai E	Peratus identiti (%)	Nombor rujukan kemasukan	Peratusan persamaan (%)	
1	SFKT	OR674777	<i>Spodoptera frugiperda</i>	1146	1146	100%	0	100	MN541574.1	<i>Spodoptera frugiperda</i> sp.2	100
2	TRKT1	OR674774	<i>Telenomus remus</i>	1101	1101	97%	0	99.67	MT949366.1	<i>Telenomus remus</i>	99.49
3	TRKT2	OR674776	<i>Telenomus remus</i>	1107	1107	97%	0	99.83	MT949366.1	<i>Telenomus remus</i>	99.66
4	TRKT3	OR674775	<i>Telenomus remus</i>	1107	1107	97%	0	99.83	MT949366.1	<i>Telenomus remus</i>	99.49



Rajah 1. Habitus larva FAW (kiri) dan parasitoid dewasa *Telenomus remus* (kanan)

Jadual 3. Nilai jarak genetik pasangan demi pasangan (*pairwise*) antara sampel FAW dan parasitoid *Telenomus remus* menggunakan model Kimura 2-parameter

		1	2	3	4
1	SFKT <i>Spodoptera frugiperda</i>	-			
2	TRKT1 <i>Telenomus remus</i>	0.515	-		
3	TRKT2 <i>Telenomus remus</i>	0.515	0.02	-	
4	TRKT3 <i>Telenomus remus</i>	0.515	0.02	0.00	-

PERBINCANGAN

Pengecaman Spesies *Spodoptera frugiperda* dan *Telenomus remus*

Barkod DNA merupakan satu kaedah pengecaman spesies serangga menggunakan maklumat genetik dari jujukan barkod (Cheng et al. 2023). Selain itu, ia juga dapat mengenalpasti spesies serangga dari peringkat larva, pupa dan nimfa tanpa merujuk kepada kaedah pengecaman morfologi (Virgilio et al. 2010). Sementara itu, kaedah pengecaman melalui barkod DNA ini juga telah terbukti tepat dan berjaya menyelesaikan masalah pengecaman spesies serangga yang signifikan dalam pertanian (Halim et al. 2017; Mohammed et al. 2022; Yaakop et al. 2022), perhutanan (Kirichenko et al. 2023; Quicke et al. 2023), forensik (Kwiatkowski et al. 2023) dan perdagangan yang melibatkan spesies invasif asing (Kang et al. 2023). Biarpun terdapat pengkaji yang melaporkan prestasi pendekatan barkod DNA adalah tidak konsisten dan mungkin tidak dapat digunakan bagi sebahagian order serangga yang berbeza-beza (Virgilio et al. 2010), namun teknik ini masih dianggap jitu dan digunakan oleh pengkaji-pengkaji serangga di seluruh dunia untuk mengenalpasti spesies serangga yang pelbagai.

Spodoptera frugiperda dan parasitoid yang memparasitnya iaitu *T. remus* telah berjaya dikenalpasti dengan menggunakan kaedah barkod DNA. Pengecaman untuk peringkat larva bagi order Lepidoptera biasa berdepan dengan kekangan disebabkan oleh ciri morfologi yang hampir sama bagi spesies yang berlainan (Hausmann et al. 2020). Oleh itu, beberapa kajian lepas telah mengaplikasikan teknik barkod DNA dan berjaya mengenalpasti spesies invasif ini serta menentukan sama ada jujukan sampel tersebut terdiri dari strain padi atau jagung. Mahat et al. (2020) telah berjaya mengumpul sebanyak 374 jujukan FAW dari Bhutan dan melaporkan 265 jujukan terdiri dari strain padi dan 109 jujukan pula dari strain jagung. Ramos-Hernández et al. (2023) pula melaporkan FAW yang dikumpulkan dari wilayah Tabasco, Mexico dikenalpasti sebagai *S. frugiperda* dari strain padi melalui teknik barkod DNA. Seterusnya, tinjauan berkenaan serangga perosak ini di wilayah berdekatan telah dijalankan oleh Tay et al. (2023) di Papua New Guinea mendapati *S. frugiperda* dari strain padi telah berjaya dikenalpasti. Dengan menggunakan teknik ini juga, sampel ulat ratus dari wilayah Sumatera Selatan, Indonesia ditentukan sebagai FAW yang terdiri daripada strain padi dan jagung (Herlinda et al. 2022).

Pengenalpastian spesies parasitoid dalam kajian ini iaitu *T. remus* disokong oleh hasil persamaan yang jitu sebanyak 99.49-99.83% yang dirujuk dari pengkalan data BLAST dan BOLD. *Telenomus remus* adalah sejenis penyengat parasitoid yang bersaiz kecil (berukuran 0.601 cm), menyebabkan proses pengenalpastian spesies berdepan kekangan (Pomari-Fernandes et al. 2016). Oleh itu, teknik barkod DNA telah digunakan secara meluas oleh para pengkaji untuk menyokong data morfologi bagi pengecaman spesies ini. Di Brazil, Wengrat et al. (2021) telah mengaplikasikan gabungan pengecaman morfologi menggunakan struktur genitalia jantan dan barkod DNA bagi mengkaji potensi parasitisme *T. remus* terhadap *S. frugiperda*. Liao et al. (2019) pula mengesahkan pengecaman *T. remus* yang memparasit FAW di selatan China serta mendapati kadar parasitisme di lapangan boleh mencapai sehingga 30% pada telur FAW. Pengecaman musuh semulajadi bagi FAW di Nigeria turut berjaya mengenalpasti *T. remus* dan beberapa spesies lain seperti *Euplectrus laphygmae* dan *Trombidium* sp. dengan menggunakan pendekatan morfologi dan barkod DNA (Ogunfunmilayo et al. 2021). Satu tinjauan yang dijalankan oleh Agboyi et al. (2020) terhadap parasitoid kompleks yang memparasit *S. frugiperda* telah menentukan dan menyenaraikan *T. remus* dan beberapa spesies musuh semulajadi dari order Hymenoptera dan Diptera yang berpotensi dari Ghana dan Benin.

Asosiasi di antara *Spodoptera frugiperda* dan *Telenomus remus*

Spodoptera frugiperda adalah spesies serangga perosak yang signifikan terhadap pelbagai tanaman komersial seperti jagung, padi, kapas dan kacang soya (de Lacerda et al. 2023). Penggunaan racun serangga kimia yang tidak terkawal telah mengakibatkan FAW berjaya membangunkan kerintangan terhadap racun-racun kimia komersial. Sehubungan itu, kaedah kawalan biologi sebagai alternatif yang perlu dipertimbangkan dan diberikan perhatian yang sewajarnya (Abbas et al. 2022). Kawalan biologi FAW boleh dicapai melalui penggunaan musuh semulajadi seperti pemangsa dan parasitoid (Ratnakala et al. 2023; Tang et al. 2023).

Telenomus remus, sejenis penyengat parasitoid, adalah agen kawalan biologi yang berpotensi untuk membanteras FAW kerana berupaya untuk memparasit telur FAW dengan berkesan. *Telenomus remus* merupakan parasitoid telur utama bagi FAW yang asli dalam habitatnya dan termasuk dalam senarai keutamaan spesies yang diperkenalkan untuk kawalan biologi bagi FAW di benua Afrika (Kenis et al. 2019). Spesies ini tergolong dalam keluarga Scelionidae, iaitu kumpulan penyengat parasitoid yang mempunyai diversiti yang tinggi (Queiroz et al. 2017). Individu *T. remus* betina mencari dan memparasit telur FAW dengan memasukkan telurnya ke dalam telur FAW dengan menggunakan ovipositor. Larva parasitoid kemudiannya berkembang di dalam telur FAW, memakan kaviti dalaman dan akhirnya membunuh larva FAW yang sedang berkembang (Colmenarez et al. 2022). Mekanisme kawalan biologi ini membantu mengurangkan populasi *S. frugiperda* (Colmenarez et al. 2022).

Penggunaan *T. remus* sebagai agen kawalan biologi menawarkan beberapa kelebihan kepada petani yang terkesan oleh serangan FAW. Parasitoid spesies ini adalah spesifik kepada perosak sasaran dan tidak membahayakan serangga lain yang berfaedah atau menyebabkan kemudaratan kepada alam sekitar (Fortes et al. 2023). Menurut Laminou et al. (2020), peringkat telur FAW merupakan peringkat hidup yang paling terdedah kepada serangan oleh musuh semula jadi. Hal ini menjadikan *T. remus* sebagai parasitoid yang efektif dalam pengawalan populasi spesies perosak ini kerana sifat biologi *T. remus* yang memparasit spesifik pada peringkat telur FAW (Laminou et al. 2020). Sementara itu, Chen et al. (2023) melaporkan bahawa *T. remus* boleh diternak secara massa dengan menggunakan perumah telur ulat daun *S. litura*. Penggunaan *T. remus* sebagai agen kawalan biologi untuk mengawal populasi FAW telah meningkat pesat di negara-negara yang terkesan seperti Brazil (Salazar-Mendoza et al. 2020), China (Chen et al. 2021), India (Priyanka et al. 2023), Cameroon (Abang et al. 2021), Ghana (Agboyi et al. 2021), dan Benin (Tepa-Yotto et al. 2021).

Walaupun penggunaan *T. remus* dalam pengawalan populasi FAW telah banyak dilaporkan, status *T. remus* di Malaysia masih kabur dan memerlukan kajian susulan yang holistik. Rekod terdahulu melaporkan bahawa spesies ini adalah berasal dari Semenanjung Malaysia dan Papua New Guinea, serta telah diperkenalkan ke pelusuk negara termasuklah India, Pakistan, Australia, New Zealand, kepulauan Caribbean, Colombia dan Venezuela untuk mengawal *Spodoptera* spp. (Kenis et al. 2019). Negara kejuruan Malaysia turut telah melaporkan keberkesanan *T. remus* dalam pengawalan FAW yang menyerang tanaman jagung. Kajian oleh Nawanich et al. (2022) telah melaporkan bahawa dua spesies parasitoid iaitu *Trichogramma* sp. dan *T. remus* berpotensi untuk dibangunkan sebagai agen kawalan biologi untuk *S. frugiperda* di Thailand. Tawakkal et al. (2021) pula melaporkan dua spesies parasitoid iaitu *Telenomus* sp. dan *Microplitis* sp. dari Indonesia mempunyai keupayaan memparasit yang tinggi serta dapat dijumpai pada kebanyakan plot kajian.

Oleh itu, kajian ini merupakan kajian pertama yang merekodkan populasi *T. remus* yang asli dari kepulauan Borneo memparasit FAW. Satu-satunya rekod saintifik yang diterbitkan

berkenaan *T. remus* di Malaysia adalah oleh Nixon (1937). Beliau melaporkan dan memperihalkan parasitoid *T. remus* yang muncul dari telur *Spodoptera* spp. yang dikumpul dari Malaysia. Beliau turut mengulas bahawa sampel *Telenomus* yang dikumpulkan tersebut mungkin adalah *T. spodopterae*, iaitu spesies yang telah diperihalkan dari kepulauan Jawa, Indonesia. Namun, pengamatan selanjutnya oleh Nixon berpendapat bahawa sampel *Telenomus* yang dikumpul di Malaysia bukanlah *T. spodopterae* dan merupakan spesies yang belum pernah diperihalkan kerana morfologi sayap hadapan *T. spodopterae* yang lebih sempit berbanding sampel *Telenomus* dari Malaysia. Perihal spesies *T. remus* oleh Nixon (1937) turut hanya melibatkan populasi Semenanjung Malaysia dan tidak melibatkan populasi Sabah dan Sarawak di kepulauan Borneo. Oleh itu, kajian ini merupakan rekod pertama bagi spesies *T. remus* yang asli di Sarawak khususnya dan di Borneo amnya kerana spesies ini turut belum pernah diperihalkan secara saintifik di Sabah dan Kalimantan.

KESIMPULAN

Sebagai spesies penyengat parasitoid di Malaysia, *T. remus* wajar diberi perhatian secara menyeluruh oleh para pengkaji serangga di Malaysia kerana potensi spesies ini sebagai agen kawalan biologi bagi *S. frugiperda* amatlah besar. Kajian lanjutan yang holistik perlu dijalankan bagi memahami aspek biologi, pemuliharaan, dan pemeliharaan sekiranya spesies parasitoid ini ingin dibangunkan secara komersial dan berskala besar.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan dan terima kasih kepada Cik Nur Hasanah Binti Hamdan dan Cik Martha Sani yang membantu dalam aktiviti pensampelan.

PENGISYTIHARAN PENGARANG

Pernyataan Biaya

Kajian ini telah dijalankan dengan penajaan oleh Kementerian Pendidikan Tinggi Malaysia (FRGS/1/2023/WAB04/UPM/02/22), Universiti Putra Malaysia (GPIPM/2019/9681200), dan Sarawak Research and Development Council (RDCRG/RIF/2019/16).

Percanggahan Kepentingan

Penulis mengakui tiada percanggahan kepentingan dalam kajian yang dijalankan.

Penyataan Etika

Tiada isu etika yang terkait dengan kajian ini.

RUJUKAN

- Abang, A.F., Nanga, S.N., Fotso Kuate, A., Kouebou, C., Suh, C., Masso, C., Saethre, M.G. & Fiaboe, K.K.M. 2021. Natural Enemies of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in different agro-ecologies. *Insects* 12(6): 509.
- Abbas, A., Ullah, F., Hafeez, M., Han, X., Dara, M.Z.N., Gul, H. & Zhao, C.R. 2022. Biological control of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Agronomy* 12(11): 2704.
- Agboyi, L.K., Goergen, G., Beseh, P., Mensah, S.A., Clottey, V.A., Glikpo, R., Buddie, A., Cafà, G., Offord, L., Day, R. & Rwomushana, I. 2020. Parasitoid complex of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Ghana and Benin. *Insects* 11(2): 68.
- Agboyi, L.K., Layodé, B.F.R., Fening, K.O., Beseh, P., Clottey, V.A., Day, R., Kenis, M. & Babendreier, D. 2021. Assessing the potential of inoculative field releases of *Telenomus remus* to control *Spodoptera frugiperda* in Ghana. *Insects* 12(8): 665.
- Altschul, S.F., Gish, W., Miller, W., Myers, E.W. & Lipman, D.J. 1990. Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology* 215(3): 403-410.
- Antil, S., Abraham, J.S., Sripoorna, S., Maurya, S., Dagar, J., Makhija, S., Bhagat, P., Gupta, R., Sood, U., Lal, R. & Toteja, R. 2023. DNA barcoding, an effective tool for species identification: a review. *Molecular Biology Reports* 50(1): 761-775.
- Bueno, R.C.O.D.F., Bueno, A.D.F., Parra, J.R.P., Vieira, S.S. & Oliveira, L.J.D. 2010a. Biological characteristics and parasitism capacity of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera, Trichogrammatidae) on eggs of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae). *Revista Brasileira de Entomologia* 54: 322-327.
- Bueno, R.C.O.D.F., Carneiro, T.R., Bueno, A.D.F., Pratisoli, D., Fernandes, O.A. & Vieira, S. S. 2010b. Parasitism capacity of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Scelionidae) on *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) eggs. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 53: 133-139.
- Chen, W., Wang, M., Li, Y., Mao, J. & Zhang, L. 2023. Providing aged parasitoids can enhance the mass-rearing efficiency of *Telenomus remus*, a dominant egg parasitoid of *Spodoptera frugiperda*, on *Spodoptera litura* eggs. *Journal of Pest Science* 96: 1379-1392.
- 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(12): 1050.
- Cheng, Z., Li, Q., Deng, J., Liu, Q. & Huang, X. 2023. The devil is in the details: Problems in DNA barcoding practices indicated by systematic evaluation of insect barcodes. *Frontiers in Ecology and Evolution* 11: 1149839.
- Chimeno, C., Morinière, J., Podhorna, J., Hardulak, L., Hausmann, A., Reckel, F., Grunwald, J. E., Penning, R. & Haszprunar, G. 2019. DNA Barcoding in forensic entomology -

- establishing a DNA reference library of potentially forensic relevant arthropod species. *Journal of Forensic Sciences* 64(2): 593–601.
- Chou, L.Y. 1987. Note on *Telenomus remus* (Hymenoptera: Scelionidae). *Bulletin of the Entomological Society Natural Chung-Hsing University* 20: 15-20.
- Colmenarez, Y.C., Babendreier, D., Ferrer Wurst, F.R., Vásquez-Freytez, C.L. & de Freitas Bueno, A. 2022. The use of *Telenomus remus* (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae) in the management of *Spodoptera* spp.: Potential, challenges and major benefits. *CABI Agriculture and Bioscience* 3(1): 1-13.
- de Lacerda, L.F., Coelho, A., de Paula, P.H., Amorim, D.J., Demetrio, C.G.B. & Parra, J.R.P. 2023. Biological basis for adoption of an isolate of *Telenomus remus* (Hymenoptera: Scelionidae) for an augmentative biological-control program for *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Insect Science* 23(5): 1-7.
- Deagle, B.E., Jarman, S.N., Coissac, E., Pompanon, F. & Taberlet, P. 2014. DNA metabarcoding and the cytochrome c oxidase subunit I marker: Not a perfect match. *Biology Letters* 10(9): 20140562.
- Fallet, P., Bazagwira, D., Guenat, J.M., Bustos-Segura, C., Karangwa, P., Mukundwa, I.P., Kajuga, J., Degen, T., Toepfer, S. & Turlings, T.C. 2022. Laboratory and field trials reveal the potential of a gel formulation of entomopathogenic nematodes for the biological control of fall armyworm caterpillars (*Spodoptera frugiperda*). *Biological Control* 176: 105086.
- Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., Lutz, R. & Vrijenhoek, R. 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology* 3(5): 294-299.
- Fortes, A.D.R., Coelho Jr, A., Amorim, D.J., Demetrio, C.G. & Parra, J.R. 2023. Biology and quality assessment of *Telenomus remus* (Hymenoptera: Scelionidae) and *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in eggs of *Spodoptera* spp. for augmentative biological control programs. *Journal of Insect Science* 23(5): 1-10.
- Hall, T.A. 1999. BioEdit: A user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic acids symposium series* 41:95-98.
- Halim, M., Aman-Zuki, A., Mohammed, M.A. & Yaakop, S. 2017. DNA barcoding and relationships of eight ladybugs species (Coleoptera: Coccinellidae) that infesting several crops from Peninsular Malaysia. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 20(3): 814-820.
- Hausmann, A., Diller, J., Moriniere, J., Höcherl, A., Floren, A. & Haszprunar, G. 2020. DNA barcoding of fogged caterpillars in Peru: A novel approach for unveiling host-plant relationships of tropical moths (Insecta, Lepidoptera). *PLOS ONE* 15(1): e0224188.
- Herlinda, S., Suharjo, R., Sinaga, M. E., Fawwazi, F. & Suwandi, S. 2022. First report of occurrence of corn and rice strains of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in South

- Sumatra, Indonesia and its damage in maize. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 21(6): 412-419.
- Huemer, P. & Wieser, C. 2023. DNA barcode library of megadiverse lepidoptera in an Alpine Nature Park (Italy) reveals unexpected species diversity. *Diversity* 15(214): 1-12.
- Jamil, S.Z., Rasul, M.A.M. & Fuad, M. 2022. Kaedah pembelaan secara massa ulat ratus' fall armyworm' (FAW) (*Spodoptera frugiperda*). *Buletin Teknologi MARDI: Khas Kawalan Biologi* 33: 175-183.
- Jamil, S.Z., Saranam, M.M., Saleh Hudin, L.J. & Anuar Wan Ali, W.K. 2021. First incidence of the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith 1797) attacking maize in Malaysia. *BioInvasions Record* 10(1): 81-90.
- Kang, T.H., Choi, D.S., Hong, K.J. & Park, S. 2023. Monitoring of hitchhiker insect pests collected on foreign vessels entering Korea using by DNA barcodes. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 26(4): 102136.
- Kenis, M., Du Plessis, H., Van den Berg, J., Ba, M.N., Goergen, G., Kwadjo, K.E., Baoua, I., Tefera, T., Buddie, A., Cafà, G. & Offord, L. 2019. *Telenomus remus*, a candidate parasitoid for the biological control of *Spodoptera frugiperda* in Africa, is already present on the continent. *Insects* 10(4): 92.
- Kenis, M. 2023. Prospects for classical biological control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in invaded areas using parasitoids from the Americas. *Journal of Economic Entomology* 116(2): 331-341.
- Kenis, M., du Plessis, H., Van den Berg, J., Ba, M., Goergen, G., Kwadjo, K., Baoua, I., Tefera, T., Buddie, A., Cafà, G., Offord, L., Rwomushana, I. & Polaszek, A. 2019. *Telenomus remus*, a candidate parasitoid for the biological control of *Spodoptera frugiperda* in Africa, is already present on the continent. *Insects* 10(4): 92.
- Kirichenko, N.I., Gomboc, S., Piškur, B., & De Groot, M. (2023). Use of an arboretum and DNA barcoding for the detection and identification of leaf-mining insects on Alien Woody Plants. *Forests* 14(3): 641.
- Kona, N.E.M., KhalafallaTaha, A., Mahmoud, M.E. & Adam, A.H.M. 2021. The biology of fall army worm (*Spodoptera frugiperda*. JE Smith) in Sudan. *Journal of Agronomy Research* 4(1): 1-5.
- Kress, W.J. & Erickson, D.L. 2008. DNA barcodes: Genes, genomics, and bioinformatics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105(8): 2761-2762.
- Kwiatkowski, S.C., Sanford, M.R., Donley, M., Welch, K. & Kahn, R. 2023. Simplified COI barcoding of blow, flesh, and scuttle flies encountered in medicolegal investigations. *Forensic Science, Medicine and Pathology* 1-11.
- Laminou, S.A., Ba, M.N., Karimoune, L., Doumma, A. & Muniappan, R. 2020. Parasitism of locally recruited egg parasitoids of the fall armyworm in Africa. *Insects* 11(7): 430.

- Liao, Y.L., Yang, B., Xu, M.F., Lin, W., Wang, D.S., Chen, K.W. & Chen, H.Y. 2019. First report of *Telenomus remus* parasitizing *Spodoptera frugiperda* and its field parasitism in southern China. *Journal of Hymenoptera Research* 73: 95-102.
- Mahat, K., Mitchell, A. & Zangpo, T. 2021. An updated global COI barcode reference data set for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) and first record of this species in Bhutan. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 24(1): 105-109.
- Makgoba, M.C., Tshikhudo, P.P., Nnzeru, L.R. & Makhado, R.A. 2021. Impact of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*)(J.E. Smith) on small-scale maize farmers and its control strategies in the Limpopo province, South Africa. *Jàmbá: Journal of Disaster Risk Studies* 13(1): 1-9.
- Matova, P.M., Kamutando, C.N., Magorokosho, C., Kutwayo, D., Gutsa, F. & Labuschagne, M. 2020. Fall-armyworm invasion, control practices and resistance breeding in Sub-Saharan Africa. *Crop Science* 60(6): 2951-2970.
- Mohammed, M.A., Aman-Zuki, A., Yusuf, S., Md-Zain, B.M. & Yaakop, S. 2017. Prevalence and evolutionary history of endosymbiont *Wolbachia* (Rickettsiales: Anaplasmataceae) in parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) associated with *Bactrocera* fruit flies (Diptera: Tephritidae) infesting carambola. *Entomological Science* 20(1): 382-395.
- Mohammed, M.A., Aman-Zuki, A. & Asrina W.W.Y. 2021. Report on an invasive pest, the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on maize cultivation in Bintulu, Sarawak. *Serangga* 26(2): 97-106.
- Mohammed, M.A., Aman-Zuki, A., Buang, M.G., Hamdan, N.H., Sani, M., King, P.J.H. & Yaakop, S. 2022. Barkod DNA spesies koya (Hemiptera: Pseudococcidae) dan semut (Hymenoptera: Formicidae) yang berasosiasi dengan tanaman nanas di Bintulu, Sarawak, Malaysia. *Serangga* 27 (3): 38-53.
- Nawanich, S., Junta-ud, N., Promnaret, A. & Raichuen, S. 2022. Natural parasitism of egg parasitoid and biology of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Scelionidae) on Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Agricultural Science Journal* 53(30): 242-255.
- Nixon, G.E.J. 1937. Some Asiatic Telenominae (Hym., Proctotrupoidea). *Annals and Magazine of Natural History* (10)20: 444-475.
- Ogunfunmilayo, A.O., Kazeem, S.A., Idoko, J.E., Adebayo, R.A., Fayemi, E.Y., Adedibu, O.B., Oloyede-Kamiyo, Q.O., Nwogwugwu, J.O., Akinbode, O.A., Salihu, S., Offord, L.C., Buddie, A.G. & Ofuya, T.I. 2021. Occurrence of natural enemies of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Nigeria. *PLOS ONE* 16(7): e0254328.
- Oliver, A.D. 1981. Biology and illustrated key for the identification of twenty species of economically important noctuid pests. LSU Agricultural Experiment Station Reports 260.

- Polaszek, A. & Kimani, S.W. 1990. *Telenomus species* (Hymenoptera: Scelionidae) attacking eggs of pyralid pests (Lepidoptera) in Africa: A review and guide to identification. *Bulletin Entomological Research* 80: 57-71.
- Perier, J.D., Haseeb, M., Kanga, L.H., Meagher, R.L. & Legaspi, J.C. 2022. Intraguild interactions of three biological control agents of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) in Florida. *Insects* 13(9): 815.
- Pomari-Fernandes, A., Bueno, A.D.F. & Bortoli, S.A.D. 2016. Size and flight ability of *Telenomus remus* parasitoids reared on eggs of the factitious host *Corcyra cephalonica*. *Revista Brasileira de Entomologia* 60: 177-181.
- Ramos-Hernández, E., Ortíz-García, C.F., Cordova-Sánchez, S. & Castellanos-Potenciano, B.P. 2023. PCR molecular identification of the fall armyworm in the Chontalpa region, Tabasco, Mexico. *Agro Productividad* 16(3): 81-89.
- Rodrigues, M.S., Morelli, K.A. & Jansen, A.M. 2017. Cytochrome c oxidase subunit 1 gene as a DNA barcode for discriminating *Trypanosoma cruzi* DTUs and closely related species. *Parasites & Vectors* 10(1): 1-18.
- Priyanka, S.L., Jeyarani, S., Sathiah, N., Mohankumar, S. & Nakkeeran, S. 2023. Influence of host egg age on parasitic potential of the entomophagous, *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Scelionidae) against the Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and investigations on the developmental biology and ultrastructure of egg parasitoid immature stages. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 33(1): 1-16.
- Qi, G.J., Ma, J., Wan, J., Ren, Y.L., McKirdy, S., Hu, G. & Zhang, Z.F. 2021. Source regions of the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) invading Australia. *Insects* 12(12): 1104.
- Queiroz, A.P., de Freitas Bueno, A., Pomari-Fernandes, A., Grande, M.L.M., Bortolotto, O.C. & da Silva, D.M. 2017. Quality control of *Telenomus remus* (Hymenoptera: Platygasteridae) reared on the factitious host *Corcyra cephalonica* (Lepidoptera: Pyralidae) for successive generations. *Bulletin of Entomological Research* 107(6): 791-798.
- Quicke, D.L., Hebert, P.D., Pentinsaari, M. & Butcher, B.A. 2023. Barcoding Hymenoptera: 11 Malaise Traps in Three Thai Forests: The First 68 Trap Weeks and 15,338 Parasitoid Wasp Sequences. *Forests* 14(10): 1991.
- Ratnasingham, S. & Hebert, P.D. 2007. BOLD: The Barcode of life data system (<http://www.barcodinglife.org>). *Molecular Ecology Notes* 7(3): 355-364.
- Ratnakala, B., Kalleshwaraswamy, C.M., Rajkumar, M. & Mallikarjuna, H.B. 2023. Biocontrol potential of entomopathogenic nematodes against invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in India. *Biological Control* 185: 105304.
- Salazar-Mendoza, P., Rodriguez-Saona, C. & Aparecido Fernandes, O. 2020. Release density, dispersal capacity, and optimal rearing conditions for *Telenomus remus*, an egg

- parasitoid of *Spodoptera frugiperda*, in maize. *Biocontrol Science and Technology* 30(10): 1040-1059.
- Sari, W., Nelly, N., Hidrayani, & Yaherwandi. 2023. Natural enemies of *Spodoptera frugiperda* JE Smith (Lepidoptera: Noctuidae) on corn plants in West Sumatera. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1160(1): 012045.
- Tang, L.D., Sun, J.W., Dai, P., Mu, M.Y., Nkunika, P.O., Desneux, N. & Zang, L.S. 2023. Performance of two dominant trichogrammatid species of fall armyworm from China and Africa under contrasted temperature and humidity regimes. *Biological Control* 179: 105179.
- Tawakkal, M.I., Buchori, D. & Maryana, N. 2021. New association between *Spodoptera frugiperda* JE Smith (Lepidoptera: Noctuidae) and native natural enemies: Bioprospection of native natural enemies as biological control agents. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 771(1): 012030.
- Tay, W.T., Kuniata, L., James, W. & Walsh, T. 2023. Confirmation of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Papua New Guinea by molecular diagnostics of mitochondrial DNA COI gene. *BioInvasions Records* 12(1): 103-116.
- Tepa-Yotto, G., Winsou, J.K., Dahoueto, B. & Tamò, M. 2021. Assessing new scouting approaches for field sampling of *Spodoptera frugiperda* and its parasitoids. *Proceedings* 68: 1-8.
- Virgilio, M., Backeljau, T., Nevado, B. & De Meyer, M. 2010. Comparative performances of DNA barcoding across insect orders. *BMC bioinformatics* 11(1): 1-10.
- Wengrat, A.P., Coelho Junior, A., Parra, J.R., Takahashi, T.A., Foerster, L.A., Corrêa, A.S., Polaszek, A., Johnson, N.F., Costa, V.A. & Zucchi, R.A. 2021. Integrative taxonomy and phylogeography of *Telenomus remus* (Scelionidae), with the first record of natural parasitism of *Spodoptera* spp. in Brazil. *Scientific Reports* 11(1): 14110.
- Wu, S.S., Tseng, C.T., Yang, Y.H., Liu, Y.C., Chang, J.C., Gyawali, P., Li, Y.H., Yang, T.H., Tsai, Y.F., Tang, L.C. & Nai, Y.S. 2022. Potential of a combination of entomopathogenic fungal strains and a non-ionic surfactant to control the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). *Journal of Asia-Pacific Entomology* 25(4): 102001.
- Yaakop, S., Van Achterberg, C., Idris, A.B. & Aman, A.Z. 2013. Freezing method as a new non-destructive modification of DNA extraction. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science* 36(4): 373-392.
- Yaakop, S., Sabri, S., Kamaruddin, N.A.K., Norizam, N.N. & Mohammed, M.A. 2022. Species composition and DNA barcoding of hemipteran assemblages throughout paddy growing seasons. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science* 45(3): 631-648.
- Yainna, S., Tay, W.T., Durand, K., Fiteni, E., Hilliou, F., Legeai, F., Clamens, A.L., Gimenez, S., Asokan, R., Kalleshwaraswamy, C.M. & Deshmukh, S.S. 2022. The evolutionary process of invasion in the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). *Scientific Reports* 12(1): 21063.