

Sinergisme Ekstrak Kunyit, Kelor, Cengkeh, dan Sirih Merah dengan *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* Berl. terhadap Larva Ulat Grayak (*Spodoptera litura* Fab.) (Lepidoptera: Noctuidae) pada Skala Laboratorium

Synergism of Turmeric, Moringa, Clove, and Red Betel Extracts with *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* Berl. against Taro Caterpillar (*Spodoptera litura* Fab.) (Lepidoptera: Noctuidae) at the Laboratory Scale

Fiola Siregar¹, Aryo Seto Pandu Wiranto¹, Suparmin Suparmin², Siti Sumarmi², Hari Purwanto², Ignatius Sudaryadi², R.C. Hidayat Soesilohadi², Sukirno Sukirno^{2*}, Abdulrahman Saad Aldawood³

¹Program Sarjana Program Studi Biologi, Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281

²Laboratorium Entomologi, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta 55281

³Economic Entomology Research Unit, Plant Protection Department College of Food and Agriculture Science King Saud University Riyadh, Saudi Arabia 11451

*Corresponding Author: sukirnobiougma@ugm.ac.id

Abstrak: Bakteri *Bacillus thuringiensis* (*Bt.*) adalah agensia hayati yang banyak digunakan untuk mengendalikan hama pada tanaman kubis, misalnya ulat grayak *Spodoptera litura* Fab. Namun, *Bt.* diketahui mudah terdegradasi oleh sinar ultraviolet (UV) sehingga harus ditambahkan UV protektan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari sinergisme ekstrak kunyit, kelor, cengkeh, dan sirih merah yang efektif sebagai UV protektan *Bt.*, dan menghitung paruh waktu patogenisitas *Bt.* yang ditambahkan ekstrak tersebut. *Bt.* yang disuspensikan dalam ekstrak kunyit, kelor, cengkeh, dan sirih merah 2% (w/v) dipapar di bawah sinar matahari B selama 0, 1, 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Setelah dipapar di bawah sinar matahari, kemudian diujikan pada larva ulat grayak instar 1 dengan menggunakan larva uji 25 individu dan dilakukan dengan tiga ulangan setiap perlakuan. Patogenisitas setiap formulasi diamati dengan menghitung mortalitas larva hingga hari ketujuh setelah perlakuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mortalitas larva tertinggi terdapat pada formulasi *Bt.* yang ditambahkan ekstrak pada paparan 0 hari. Data mortalitas setiap perlakuan *Bt.* menunjukkan penurunan dari formulasi yang dipapar 0 hari sampai 28 hari. Pada paparan matahari selama 28 hari, *Bt.* tanpa ekstrak memiliki patogenisitas sebesar 15.19%, sedangkan yang dengan ekstrak cengkeh memiliki patogenisitas lebih tinggi daripada formulasi dengan ekstrak kunyit, daun kelor, dan daun sirih merah, yaitu sebesar 56.43%. Paruh waktu pertama keefektifan formulasi *Bt.* dan ekstrak cengkeh sampai mengalami degradasi sebanyak 50% adalah 32,3 hari dan paruh kedua 25% pada 50,7 hari. Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa cengkeh paling efektif untuk sinergis dengan bakteri *Bt.*

Kata kunci: *Spodoptera litura*, bioinsektisida, *Bacillus thuringiensis*, UV protektan, aditif alami

Abstract: *Bacillus thuringiensis* is known as a bioinsecticide for controlling taro caterpillar, *Spodoptera litura* Fab. in cabbage plants. However, *Bt.* is easily degraded by ultraviolet (UV), so it needs UV protectant. This research aimed to study the synergism of extract of turmeric, moringa, cloves, and red betel as UV protectants for *Bt.* and to measure the *Bt.* half lifes. As much as 25 (w/v) of turmeric, moringa, cloves, and red betel extracts was used to make *Bt.* suspension. The *Bt.* suspension then was exposed to sunlight for 0, 1, 3, 7, 14, 21, and 28 days then it was tested against 25 individuals of 1st larval instar of taro caterpillar and each treatment was using three replicates. Pathogenicity of each formulation was observed by calculating larval mortality up to the 7th day after treatment. The results showed that the highest larval mortality was found in the *Bt.* formulation added extracts at 0-day exposure. Mortality data for each *Bt.* treatment. showed a decrease from the treatment of 0 to 28-day exposures. After 28 days of exposure, *Bt.* without extract addition had a pathogenicity of 15.2%, whereas *Bt.* with clove extract had pathogenicity about 56.4%, which is higher than those on turmeric, moringa, and red betel. The first half life of *Bt.* added with clove was 32.3 days, while the second half life was 50.7 days. Based on this research, it can be concluded that clove has synergism affect when applied with *Bt.*

Keywords: *Spodoptera litura*, bioinsecticide, *Bacillus thuringiensis*, UV protectant, natural additive

Pendahuluan

Ulat grayak (*Spodoptera litura* Fab.) merupakan hama tanaman. Ulat grayak merupakan salah satu hama menyebabkan menurunnya produktivitas kubis di Indonesia (Yuliadhi dan Sudiarta 2012). Kubis (*Brassica oleracea* L.) merupakan salah satu komoditas sayuran semusim di Indonesia yang memiliki produksi terbesar (BPS 2018). Ulat grayak merupakan hama polifagus yang merusak kubis dengan memakan daun hingga tersisa tulang daunnya saja. Hal ini menyebabkan kubis tidak dapat dipanen karena tidak membentuk krop sehingga menyebabkan penurunan produksi kubis dan kerugian bagi para petani. Umumnya petani menggunakan insektisida kimia sebagai cara utama untuk mengendalikan hama ulat grayak. Namun, penggunaan insektisida kimia yang tidak tepat menimbulkan dampak negatif, yaitu pencemaran lingkungan, resistensi hama, dan berdampak negatif terhadap organisme non target, misalnya serangga musuh alami.

Beberapa wilayah di Indonesia telah mengembangkan berbagai produk pangan berbasis organik yang bebas insektisida kimia dan beralih menggunakan agensia hayati. Penggunaan agensia hayati diketahui efektif dan tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Salah satu agensia hayati yang banyak digunakan adalah bakteri *Bt*. (Tampubolon dkk 2013). *Bt*. merupakan bakteri gram positif yang banyak ditemukan di tanah. Sel *Bt*. berbentuk batang dengan ukuran lebar 1.0-1.2 mikron dan panjang 2-5 mikron. Bakteri *Bt*. membentuk endospora dan membentuk suatu rantai yang terdiri dari 5-6 sel dan berwarna merah ungu. Bakteri ini adalah anggota Familia Bacillaceae yang menghasilkan kristal protein (*crystalline protein*) saat sporulasi dan bersifat toksik spesifik terhadap larva serangga anggota ordo Lepidoptera, Diptera, dan Coleoptera (Ibrahim dkk 2010). Toksin ini disebut *cry* atau *cyt toxins* (Pilcher dkk 1997). *Bt*. masuk melalui sistem pencernaan dan bersifat mudah larut dalam air sehingga mudah masuk ke membran usus tengah serangga (James 2009) serta dapat menyebabkan terjadinya pembentukan lubang (*pore forming toxins*) pada lapisan membran usus tengah. Di dalam usus tengah, protein kemudian pecah menjadi protoksin dan kemudian diurai oleh protease menjadi toksin aktif. Toksin yang aktif ini kemudian terikat oleh reseptor epitelium usus tengah dan membentuk struktur seperti pori atau lubang pada membran epitelium usus tengah. Lubang tersebut memudahkan masuknya ion dan air ke dalam sel sehingga

mengalami pembengkakan dan lisis. Lisis sel pencernaan menjadi penyebab kematian serangga (Piggott dan Ellar 2007).

Keunggulan penggunaan agensia hayati seperti *Bt*. adalah aman terhadap organisme non target, tidak banyak menghasilkan residu, dan tidak mencemari lingkungan. *Bt*. terbukti sangat efektif terhadap sekitar 250 jenis larva Lepidoptera dan berpengaruh juga terhadap sekitar 75 jenis larva dari ordo lainnya (SchÜnemann dkk 2014). Namun, fungsi dan aktivitas *Bt*. sebagai bioinsektisida dapat menurun akibat terkena sinar ultraviolet (UV) dari sinar matahari. Penggunaan UV protektan terhadap bioinsektisida telah banyak diteliti dan dikembangkan. Misalnya, penggunaan teh hitam, teh hijau, cocoa, dan kopi sebagai UV protektan untuk baculovirus dan telah terbukti efektif (Shapiro dkk 2008; El Salamouny dkk 2009a, b). Penggunaan rempah seperti henna dan cengkeh sebagai UV protektan bagi *baculovirus* juga sudah diteliti (Sukirno dkk 2018). Namun, penelitian dan laporan untuk penggunaan ekstrak additif *Bt*. hingga saat ini masih terbatas. Penelitian Sukirno dkk (2021) menunjukkan bahwa ekstrak sutera *Samia* efektif untuk meningkatkan persistensi *Bt*. terhadap UV B. Penelitian Sumarmi dkk (2020) juga menunjukkan bahwa ekstrak nabati seperti bayam juga berpotensi untuk digunakan sebagai pelindung *Bt*. terhadap irradiasi sinar UV B.

Indonesia memiliki tingkat kelembaban dan intensitas UV dari cahaya matahari yang tinggi. Aktivitas *Bt*. sebagai bioinsektisida akan terkendala karena dapat mengalami degradasi disebabkan oleh sinar UV dari sinar matahari. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari sinergisme ekstrak kunyit, kelor, cengkeh, dan sirih merah dari bahan-bahan yang dapat ditemukan di Indonesia sebagai protektan *Bt*. dari radiasi sinar matahari untuk pengendalian ulat grayak. Penelitian ini penting untuk mendukung efektivitas aplikasi agensia hayati secara berkelanjutan di Indonesia

Bahan dan Metode

Koleksi dan Pemeliharaan Ulat Grayak

Parental ulat grayak pada stadium larva diperoleh dari area perkebunan kubis di Kopeng, Magelang, Jawa Tengah. Pemeliharaan masal ulat grayak dilakukan di Laboratorium Entomologi Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, dengan menggunakan pakan buatan. Pakan buatan berbahan dasar kacang koro putih dibuat dengan acuan pada resep Sutanto et al. (2017) yang

dimodifikasi. Larva ulat grayak di dipelihara di dalam gelas plastik berukuran diameter 5 cm dan tinggi 10 cm yang sudah diberi pakan buatan. Larva yang sudah mencapai stadium pupa dikeluarkan dari pakan buatan lalu disterilkan dengan chlorox 1% serta dicuci dengan air mengalir. Pupa lalu diletakkan dalam stoples kaca berdiameter 15 cm x 15 cm yang ditutup dengan kain kasa dan karet gelang. Pupa yang telah berkembang menjadi Larva yang digunakan sebagai serangga uji dalam penelitian ini adalah generasi F4 umur 24 jam instar 1. imago diberi pakan dengan cara memasukkan kapas yang telah disaturasi dengan larutan madu 5%. Dalam stoples kemudian diletakkan kertas buram sebagai substrat peletakkan telur ngengat. Telur dikoleksi setiap hari dan disterilkan permukaannya dengan prosedur yang sama dengan sterilisasi pupa

Formulasi Ekstrak di Laboratorium

Pembuatan ekstrak daun sirih merah, daun kelor, bunga cengkeh, dan rimpang kunyit dibuat pada konsentrasi 10% sebanyak 1000 mL. Masing-masing larutan ekstrak bahan aditif 10% diencerkan menjadi larutan 2%. Larutan 2% dari masing-masing ekstrak aditif diambil untuk mensuspensikan 5 g *Bt.* (DIPEL WP®, Abbot Co., IN) hingga mencapai volume final 50 mL pada konsentrasi 2×10^8 spores/ ml sebagai stok untuk uji bioesai. dH₂O steril dan *Bt.* yang disuspensikan ke dalam dH₂O steril digunakan sebagai perlakuan kontrol.

Sebanyak 1 ml suspensi masing-masing stok perlakuan dan kontrol dituangkan secara homogen ke dalam *disposable* petridish (diameter 60 mm x 10 mm) kemudian dipapar di bawah sinar matahari selama 0, 1, 3, 7, 10, 14, 21, dan 28 hari selama bulan Agustus – September 2019. Eksperimen ini dilakukan dengan masing-masing sebanyak 3 ulangan. Sampel kemudian diambil sesuai periode waktu paparan dan kemudian ditutup rapat dengan menggunakan parafilm dan disimpan pada suhu -20°C hingga siap digunakan untuk pengujian bioesai.

Pengujian Formulasi *Bacillus thuringiensis* dan Ekstrak

Sehari sebelum uji bioesai, sampel yang disimpan pada suhu -20°C disuspensikan ke dalam 10 ml dH₂O steril dan kemudian dihomogenkan. Suspensi ini kemudian diambil sebanyak 1 ml (2×10^8 spores/ ml) dan dituangkan secara merata pada permukaan atas pakan buatan yang telah dituangkan

pada *disposable* petridish (diameter 60 mm x 10 mm). Sebelum digunakan untuk uji bioesai, suspensi pada pakan buatan ini dikeringanginkan selama 2 jam sampai permukaan pakan tidak basah. Kemudian sebanyak 25 larva ulat grayak instar 1 umur 24 jam, di letakkan pada masing-masing perlakuan. Mortalitas larva dalam media pakan buatan diamati setiap hari hingga 7 hari setelah perlakuan. Uji bioesai dilakukan dengan masing-masing 3 ulangan.

Analisis Statistik

Jumlah kematian larva uji pada setiap perlakuan diamati dan dihitung setelah perlakuan 0, 1, 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Perbedaan rerata persentase kematian larva untuk tiap formulasi *Bt.* terhadap larva ulat grayak dianalisis menggunakan analisis variansi (ANOVA) satu arah untuk mempelajari pengaruh lama paparan sinar matahari yang berbeda terhadap mortalitas larva. Seluruh analisis statistik dilakukan dengan menggunakan SPSS 25.

Hasil

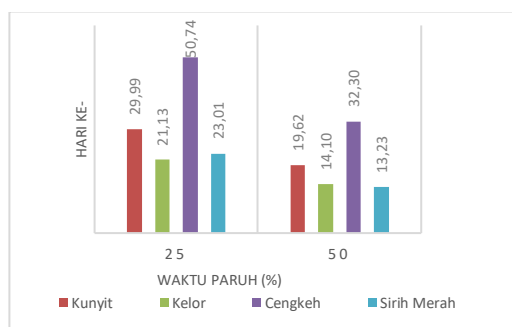
Patogenisitas Formulasi *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* Berl. dan Ekstrak terhadap Larva *Spodoptera litura* Instar 1

Patogenisitas formulasi bioinsektisida *Bt.* dan ekstrak alami diuji terhadap ulat grayak instar 1 dapat dilihat pada Tabel 1. Data pada tabel menunjukkan efektivitas formulasi *Bt.* dan ekstrak terhadap mortalitas (%) larva ulat grayak instar 1 yang dibandingkan dengan *Bt.* tanpa aditif. Mortalitas larva terhadap formulasi *Bt.* + kunyit, cengkeh, kelor dan sirih yang telah dipapar sinar matahari selama 0, 1, 3, 7, 14, 21, dan 28 hari cenderung menurun seiring dengan lama paparan. Pada perlakuan 28 hari paparan, mortalitas larva terhadap formulasi *Bt.* + cengkeh (56.4%) lebih tinggi dibandingkan dengan *Bt.* + kunyit (16.9%) dan *Bt.*+kelor (14.3%). Sedangkan, *Bt.* tanpa ekstrak menunjukkan mortalitas pada paparan 28 hari adalah 15,19%. Mortalitas pada perlakuan *Bt.* yang ditambahkan ekstrak cengkeh menunjukkan tidak berbeda signifikan dengan formulasi *Bt.* tanpa ekstrak yang tidak terpapar sinar matahari (89.58%).

Tabel 1. Rerata mortalitas larva ulat grayak instar 1 (\pm SE) setelah perlakuan formulasi *Bacillus thuringiensis* yang diekspos sinar matahari selama 0 sampai 28 hari

Perlakuan	Rerata Mortalitas (%)						
	Hari ke-0	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-7	Hari ke-14	Hari ke-21	Hari ke-28
<i>Bt.</i> +Kunyit	85.4 \pm 6.7bB	88.2 \pm 6.9bB	90.2 \pm 1.8dB	75.0 \pm 7.2bB	66.7 \pm 12.7bB	62.8 \pm 12.8aB	16.9 \pm 1.2aA
<i>Bt.</i> +Kelor	89.1 \pm 3.7bB	91.8 \pm 3.9bB	94.5 \pm 1.1dB	63.4 \pm 2.5bB	56.4 \pm 21.3bAB	16.1 \pm 6.3aA	14.3 \pm 8.9aA
<i>Bt.</i> +Cengkeh	92.3 \pm 2.1bA	90.8 \pm 2.6bA	71.2 \pm 6.5bcA	85.0 \pm 1.1bA	85.3 \pm 5.2bA	59.7 \pm 15.9aA	56.4 \pm 10.9bA
<i>Bt.</i> +Sirih	89.4 \pm 1.8bC	87.9 \pm 2.6bBC	61.7 \pm 2.6bAB	63.7 \pm 8.6bABC	40.9 \pm 5.2bB	40.4 \pm 2.4aB	12.9 \pm 9.2aA
<i>Bt.</i> dipapar	82.1 \pm 5.6bB	94.7 \pm 1.4bB	93.3 \pm 3.6dB	66.5 \pm 5.1bAB	26.9 \pm 8.6bA	56.1 \pm 17.9aB	15.2 \pm 5.8aA
<i>Bt.</i> tanpa paparan dH ₂ O	74.2 \pm 3.9bA	71.1 \pm 14.2bA	83.5 \pm 2.6cdA	72.2 \pm 8.2bA	92.1 \pm 2.3bA	50.3 \pm 15.6aA	89.6 \pm 3.3bA
	5.0 \pm 1.2aA	5.0 \pm 1.2aA	5.0 \pm 1.2aA	5.0 \pm 1.2aA	5.0 \pm 1.2aA	5.0 \pm 1.2aA	5.0 \pm 1.2aA

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang berbeda satu kolom menunjukkan beda



Gambar 1. Waktu paruh *Bacillus thuringiensis* setelah penambahan ekstrak pada permukaan daun kubis (*Brassica oleracea* L.)

Waktu Paruh Formulasi Bioinsektisida *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* Berl. dengan penambahan Ekstrak

Gambar 1 menunjukkan bahwa *Bt.* yang ditambahkan jenis ekstrak berbeda menunjukkan perbedaan waktu paruh. Formulasi *Bt.* yang memiliki waktu paruh (50%) paling lama adalah ekstrak cengkeh, yaitu selama 32,3 hari. Sedangkan, waktu paruh untuk *Bt.* ekstrak kunyit, daun kelor, dan daun sirih merah masing-masing adalah 19,62; 14,10; dan 13,23 hari. Waktu paruh kedua (25%) efektivitas *Bt.* dengan ekstrak cengkeh juga menunjukkan yang paling baik, yaitu 50,74 hari, sedangkan pada *Bt.* + kunyit, daun sirih merah, dan daun kelor berturut-turut adalah 29,99; 23,01; dan 21,13 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan ekstrak dapat meningkatkan persistensi *Bt.* ketika diaplikasikan (Gambar 1).

Waktu paruh *Bt.* tanpa ekstrak adalah 3-7 hari. Penambahan ekstrak kunyit pada formulasi *Bt.* menambah waktu paruh sampai 15 hari, sedangkan penambahan ekstrak daun kelor menambah waktu paruh sampai 10 hari. Penambahan ekstrak cengkeh pada formulasi *Bt.* mampu menambah waktu paruh 28 hari, sedangkan. penambahan ekstrak daun sirih merah menambah waktu paruh hingga 9 hari.

Pembahasan

Mortalitas ulat grayak instar 1 yang diberi perlakuan mengalami penurunan signifikan pada hari ke-28 setelah dipapar sinar matahari. setelah dipapar sinar matahari. Hal ini menunjukkan efektivitas bioinsektisida dapat mengalami degradasi karena sinar UV (Pustztai dkk 1991). Pada hari ke-28 mortalitas larva pada perlakuan *Bt.* + kunyit, *Bt.*+kelor, *Bt.*+cengkeh, dan *Bt.*+sirih merah berturut-turut menurun menjadi 16,9; 14,3; 56,4; dan 12,9%. Hasil tersebut menunjukkan formulasi *Bt.* + kunyit, daun kelor, dan daun sirih merah memiliki daya proteksi yang lebih rendah dibandingkan *Bt.* + cengkeh saat dipapar sinar matahari. Hal itu sesuai dengan penelitian Sukirno dkk (2018), yang menunjukkan bahwa ekstrak cengkeh dapat menjadi UV protektan alami yang baik untuk baculovirus. Cengkeh mengandung antioksidan dengan konsentrasi tinggi yang mampu menyerap ultraviolet (Shapiro dkk 2009b). Selain itu, cengkeh juga memiliki kandungan saponin, tannin, alkaloid, glikosida, dan flavonoid yang juga dapat menyerap UV (Shapiro dkk 2009a; Sutanto dkk 2017). Ekstrak yang digunakan untuk sinergis dengan *Bt.* juga dapat menggunakan bahan yang berasal dari hewan. Penelitian Sukirno dkk (2021) menunjukkan bahwa ekstrak sericin sutera samia dan atakas juga efektif dalam meningkatkan patogenisitas serta memberikan perlindungan *Bt.* terhadap sinar UV B.

Dilihat dari penambahan waktu paruh yang disebabkan penambahan ekstrak, ekstrak cengkeh menambahkan waktu paruh dengan durasi waktu paling lama. Penambahan waktu paruh pada *Bt.* menyebabkan bioinsektisida tetap memiliki patogenisitas tinggi terhadap ulat grayak. Aplikasi *Bt.* tanpa ekstrak hanya efektif selama 3-7 hari (Hung dkk 2016) setelah diaplikasikan. Hal ini menyebabkan *Bt.* perlu diaplikasikan secara berulang berselang sekitar satu minggu untuk dapat mengendalikan populasi hama. Durasi waktu paruh yang lebih lama pada *Bt.* dengan ekstrak dapat mengurangi intensitas aplikasi *Bt.* sehingga lebih ekonomis.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semua ekstrak berfungsi baik sebagai UV protektan bagi *Bt.*, namun ekstrak yang paling efektif sebagai UV protektan bakteri *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* Berl. adalah cengkeh. Rentang waktu keefektifan formulasi *Bt.* + cengkeh sampai mengalami degradasi sebanyak 50 dan 25% masing-masing adalah 32,30 dan 50,74 hari.

Ucapan terima kasih

Penelitian ini didanai oleh hibah penelitian dasar unggulan perguruan tinggi (PDUPT) Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi 2019.

Referensi

- Badan Pusat Statistik (BPS). (2018) *Statistik Tanaman Sayuran dan Buah-Buahan Semusim Indonesia*. BPS RI. Jakarta. Hal. 28.
- Baldisserotto, A., Buso P., Radice M., Dissette V., Lampronti I., Gambari R., Manfredini S., & Vertuani S. (2018) *Moringa oleifera* leaf extracts as multifunctional ingredients for “natural and organic” sunscreens and photoprotective preparations. *Molecules*, 23(3), 664. PMID: 29543741. PMCID: PMC6017530. DOI: 10.3390/molecules23030664.
- Budi, G. (2009) Beberapa aspek perbaikan penyemprotan pestisida untuk mengendalikan organisme pengganggu tanaman. *Agritech*, 11(2), 69-80.
- El Salamouny, S., Ranwala D., Shapiro M., Shepard B.M., & Farrar B.R. (2009a) Tea, coffee and cocoa as ultraviolet radiation protectants for the beet armyworm nucleopolyhedrovirus. *Journal*

- of Economic Entomology, 102, 1767-1773. doi:10.1603/029.102.0506.
- El Salamouny, S., M. Shapiro, K.S. Ling, and B.M. Shepard. 2009b. Black tea and lignin as ultraviolet protectants for the beet armyworm nucleopolyhedrovirus. *Journal of Entomological Science*, 44: 1-9. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-44.1.50>
- Elvira, S., N. Gorri'A, DMun~ Oz, TWilliams, and P. Aballero. 2010. A simplified low-cost diet for rearing *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) and its effect on *S. exigua* nucleopolyhedrovirus production. *Journal of Economic Entomology* 103(1): 17-24. DOI: 10.1603/EC09246.
- Hung, T.P., L.V. Truong, N.D. Binh, R. Frutos, H. Quiquampoix, and S. Staunton. 2016. Fate of insecticidal *Bacillus thuringiensis* cry protein in soil: differences between purified toxin and biopesticide formulation. *Pest Management Science*, 72(12): pp.2247-2253.
- Ibrahim, M., N. Griko, M. Junker, and L. Bulla. 2010. *Bacillus thuringiensis* a genomics and proteomics perspective. *Bioengineered Bugs* 1(1): 31-50. DOI: 10.4161/bbug.1.1.10519; PMID: 21327125.
- James, C. 2009. *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops*. Ithaca. New York. 325 hal.
- Liu, X., R. Zhang, H. Shi, X. Li, Y. Li, A. Taha, and C. Xu. 2018. Protective effect of curcumin against ultraviolet a irradiation-induced photoaging in human dermal fibroblasts. *Molecular Medicine Reports* 17(5): 7227-7237. DOI: 10.3892/mmr.2018.8791. PMID: 29568864.
- Pigott, C. R. and D. J. Ellar. 2007. Role of receptors in *Bacillus thuringiensis* crystal toxin activity. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 71 (2): 255-281. DOI: 10.1128/MMBR.00034-06; PMID: 17554045.
- Pilcher, C.D., J.J. Obrycki, M.E. Rice, and L.C. Lewis. 1997. Preimaginal development, survival, and field abundance of insect predators on transgenic *Bacillus thuringiensis* corn. *Environmental Entomology*, 26: 446-454. <https://doi.org/10.1093/ee/26.2.446>.
- Pusztai, M., P. Fast, L. Gringorten, H. Kaplan, T. Lessard, and P. Carey. 1991. The mechanism of sunlight mediated inactivation of *Bacillus thuringiensis* crystals. *Biochemical Journal*, 273: 43-47. DOI: 10.1042/bj2730043; PMID: 1846530.

- Salehi, B., A. Zainul, G. Rabin, I. Salam, R. Jovana, K. Zabta, K. Tariq, S. Javad, O. Adem, T. Elif, V. Marco, B. Tugba, M. Lianet, M. Miquel, and N. William. 2019. Piper species: A comprehensive review on their phytochemistry, biological activities and applications. *Molecules* 24:1364. DOI: 10.3390/molecules24071364.
- Saric, S. and R. K. Sivamani. 2016. Polyphenols and sunburn. *Int J International Journal of Molecular Sciences*, 17 (9): 1521. PMID: 27618035. DOI: 10.3390/ijms17091521.
- SchÜnemann, R., N. Knaak, and L. Fiuza. 2014. Mode of action and specificity of *Bacillus thuringiensis* toxins in the control of caterpillars and stink bugs in soybean culture. *International Scholarly Research Notices*, 2014:1-12. DOI: 10.1155/2014/135675; PMID: 24575310.
- Shapiro, M., S. El Salamouny, and M. Shepard. 2008. Green tea extracts as ultraviolet protectants for the beet armyworm, *Spodoptera exigua* nucleopolyhedrovirus. *Biocontrol Science and Technology*, 18: 591603. <https://doi.org/10.1080/09583150802133271>.
- Shapiro, M., S. El Salamouny, B. M. Shepard, and D. M. Jackson. 2009a. Plant phenolics as radiation protectants for the beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) nucleopolyhedrovirus. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 26: 1-10. <https://doi.org/10.3954/1523-547526.1.1>.
- Shapiro, M., S. El Salamouny, and B. M. Shepard. 2009b. Plant extracts as ultraviolet radiation protectants for the beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) nucleopolyhedrovirus: Screening of extracts. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 26: 47-61. <https://doi.org/10.3954/1523-5475-26.2.47>.
- Siregar, F. 2020. "Patogenisitas *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* Berl. dengan UV protektan terhadap larva ulat grayak (*Spodoptera litura* Fab.) (Lepidoptera: Noctuidae) di laboratorium" (Skripsi). Program Sarjana Program Studi Biologi Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada
- Sukirno, S., M. Tufail, K.G. Rasool, S. El Salamouny, K. Sutanto, and A.S. Aldawood. 2018. The efficacy and persistence of *Spodoptera littoralis* nucleopolyhedrovirus (SpliMNPV) applied in UV protectants against the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) under Saudi field conditions. *Pakistan Journal of Zoology*, 50(5): 1895-1902. DOI: <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/2018.50.5>
- Sukirno, S., D. Lukmawati, S.S.L. Hanum, V.F. Ameliya, S. Sumarmi, H. Purwanto, S. Suparmin, I. Sudaryadi, R.C. Soesilohadi, and A.S. Aldawood 2021. The effectiveness of *Samia ricini* Drury (Lepidoptera: Saturniidae) and *Attacus atlas* L. (Lepidoptera: Saturniidae) cocoon extracts as ultraviolet protectants of *Bacillus thuringiensis* for controlling *Spodoptera litura* Fab. (Lepidoptera: Noctuidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 42:255–260.
- Sutanto, K., S. El Salamouny, M. Tufail, K.G. Rasool, S. Sukirno, M. Shepard, M. Shapiro, and A.S. Aldawood. 2017. Evaluation of natural additives to enhance the persistence of *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) nucleopolyhedrovirus (SpliMNPV) under field conditions in Saudi Arabia. *Journal of Economic Entomology*, 110(3): 1–7. DOI: 10.1093/jee/tox085; PMID: 28460121.
- Tampubolon, D., Y. Pangestiningih, F. Zahara, dan F. Manik. 2013. Uji patogenisitas *Bacillus thuringiensis* dan *Metarhizium anisopliae* terhadap mortalitas *Spodoptera litura* Fabr. (Lepidoptera: Noctuidae) di laboratorium. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 1(3): 783-793. ISSN No. 2337- 6597.
- Waldbauer, G., R. Cohen, and S. Friedman. 1984. An improved procedure for laboratory rearing of the corn earworm, *Heliothis zea* (Lepidoptera: Noctuidae). *Great Lakes Entomology*, 17: 113-118.
- Yuliadhi, K. dan P. Sudiarta. 2012. Struktur komunitas hama pemakan daun kubis dan investigasi musuh alamnya. *Jurnal Agrotrop*, 2(2): 191-196.
- Environment Program. http://www.unepie.org/pc/cp/understanding_cp/cp_industries.htm (Accessed on February 13, 2011)

