

Control biológico de insectos plaga de palma de aceite en Indonesia*

Biological Control of Oil Palm Insect Pests in Indonesia

AUTORES: Hari Priwiratama, Agus Eko Prasetyo, Agus Susanto.

CITACIÓN: Priwiratama, H., Prasetyo, A. K., & Susanto, A. (2019). Control biológico de insectos plaga de palma de aceite en Indonesia. *Palmas*, 40 (Especial Tomo I), 77-93.

PALABRAS CLAVE: *M. anisopliae*, *B. bassiana*, *C. militar*, *B. thuringiensis*, baculovirus, feromonas, trampa de frutas, bioinsecticida.

KEYWORDS: *M. anisopliae*, *B. bassiana*, *C. militar*, *B. thuringiensis*, baculovirus, pheromones, fruit trap, biopesticide.

*Artículo original recibido en inglés y traducido por Carlos Arenas París.



HARI PRIWIRATAMA

Instituto de Investigación en Palma de Aceite de Indonesia
Indonesian Oil Palm Research Institute (IOPRI)

Resumen

Desde la implementación obligatoria del Aceite de Palma Sostenible en Indonesia (ISPO), el control biológico se ha convertido en la primera alternativa para regular los insectos plaga en la mayoría de plantaciones de palma de aceite de Indonesia. Estos incluyen la conservación de depredadores y parasitoides, el uso de hongos, virus, bacterias, cebos e insecticidas de origen vegetal. La conservación de predadores y parasitoides, mediante el manejo ecológico, ha sido una práctica común tanto en plantaciones comerciales como pequeñas. El *Metarhizium anisopliae* se encuentra entre las especies de hongos entomopatógenos ampliamente utilizados para menguar las poblaciones de los principales insectos plaga. Se ha demostrado que la combinación de *M. anisopliae* y un cebo, reducen la población de escarabajos rinoceronte. La aplicación de baculovirus y *Bacillus thuringiensis* es bastante prometedora para

controlar orugas. La fumigación continua con baculovirus, en una finca de palma de aceite, mantuvo la población de *Setothosea asigna* bajo el umbral económico durante dos años consecutivos. Por otra parte, *B. thuringiensis* demostró ser efectiva contra larvas de lepidópteras. Además de los enemigos naturales, el uso de cebos e insecticidas naturales también logró reducir la población de escarabajos rinoceronte y gusano del saco, respectivamente. La formulación de enemigos naturales quizás siga siendo un reto para la implementación de controles biológicos en las plantaciones de palma de aceite.

Abstract

Since the mandatory implementation of the Indonesian Sustainable Palm Oil (ISPO), biological control has becoming the first alternative for controlling insect pests in most of oil palm plantations in Indonesia. These including the conservation of predators and parasitoids, the utilization of fungi, viruses, bacteria, lures, and the plant-based insecticide. Conservation of predators and parasitoids through ecological management has been a common practice in commercial as well as smallholder plantation. *Metarhizium anisopliae* is among entomopathogenic fungal species that has been widely used to suppress the population of major insect pest. Combination of *M. anisopliae* and lure has been demonstrated to reduce the population of rhinoceros beetle. The application of baculoviruses and *Bacillus thuringiensis* shows a great promise for controlling nettle caterpillars. Continuous spraying of baculoviruses was demonstrated in an oil palm estate where the population of *Setothosea asigna* was successfully maintained under the economic threshold for two consecutive years. *B. thuringiensis*, on the other hand, was proven effective against nettle caterpillars and bagworms. Next to natural enemies, the use of lures and natural insecticides were also capable of decreasing rhinoceros beetle and bagworm population, respectively. Formulation of natural enemies perhaps remain as a challenge for the implementation of biological control in oil palm plantations.

□

Introducción

Las pérdidas económicas debido a las infestaciones de plagas se están convirtiendo en una gran amenaza para la industria de la palma de aceite. Durante muchos años, la aplicación de insecticidas ha sido una práctica común para controlar los insectos plaga en las plantaciones de palma de aceite de Indonesia (Susanto *et al.*, 2013). Desafortunadamente, el empleo constante de estos tiene un impacto negativo sobre los otros insectos, incluyendo predadores, parasitoides y polinizadores (Wood, 2002). Adicionalmente, el uso no controlado de insecticidas puede causar brotes de plagas, ya sea mediante resistencia o mecanismos de resurgimiento (Gitau *et al.*, 2009; Norman *et al.*,

2011; Rozziansha *et al.*, 2012). Por ejemplo, el último caso se observó en 2012, cuando el brote de una nueva oruga, *Pseudoresia desmierdechenoni*, causó un daño masivo a la palma de aceite en Batu Bara, Sumatra Septentrional (Prasetyo & Susanto, 2014). Por otro lado, la continua recurrencia de orugas urticantes en varias plantaciones de Indonesia indica la pérdida de insectos benéficos efectivos que, naturalmente, mantenían a la plaga por debajo del umbral económico.

El uso de controles biológicos como la primera opción para el manejo de las poblaciones de insectos plaga se está volviendo más popular desde que comenzó en 2012 la implementación obligatoria de la regulación de Aceite de Palma Sostenible de Indonesia (ISPO, por sus siglas en inglés). Con esta, se insta a las plantacio-

nes a adoptar los conceptos del Manejo Integrado de Plagas (MIP), haciendo énfasis en el control biológico como la columna vertebral para resolver los problemas de plagas. Esto incluye el uso de enemigos naturales, es decir predadores, parasitoides, hongos entomopatógenos, nematodos, virus y bacterias. Y adicionalmente, la aplicación de productos ecológicos tales como feromonas de insectos, trampas de frutas e insecticidas basados en plantas. A continuación, se discutirá más a fondo el progreso en la implementación de controles biológicos de los insectos plaga en la industria indonesia de la palma de aceite.

Conservación de predadores y parasitoides para el control natural de orugas defoliadoras

La palma de aceite en Indonesia está sufriendo el ataque de orugas defoliadoras, más específicamente, gusanos canasta, orugas urticantes y polillas. La infestación severa de orugas defoliadoras puede ocurrir rápidamente, ya que sus ciclos de vida son cortos pero sus tasas de reproducción altas. En un nivel elevado de infestación, estas orugas son capaces de causar defoliación masiva en palma de aceite, lo que puede llevar a pérdidas en el rendimiento de más de 40 % durante el primer y segundo año (Wood *et al.*, 1973; Basri *et al.*, 1995; Syed & Saleh, 1998; Kamarudin & Wahid, 2010; Potineni & Saravanan, 2013). La reducción en el primer año se atribuye al aborto de inflorescencias, mientras que en el segundo se debe a un efecto en la proporción de sexos en las inflorescencias (Corley & Tinker, 2016).

Se han identificado aproximadamente 11 predadores y 33 parasitoides como enemigos naturales de las orugas defoliadoras de palma de aceite en Sumatra Septentrional, Indonesia (Sipayung *et al.*, 1988). Sin embargo, se encontró que tan solo cuatro de ellos atacaban y tenían un impacto significativo sobre estas: *Sycanus dichotomus*, *Cosmolestes picticeps* (Reduviidae), *Eucanthecona furcellata* (Pentatomidae) y *Callimerus arcufer* (Cleridae) (Sipayung *et al.*, 1988; Mariau *et al.*, 1991; Norman y Basri, 2007). Los últimos dos son los principales predadores de orugas urticantes y de larvas de polillas. Por otra parte, *S. dichotomus* y *C. picticeps* son predadores del gusano canasta, así como de *Setothosea assigna* y orugas de

polillas. La observación de campo mostró que la población de *C. picticeps* era mayor en el área en la que ocurrían brotes de *Metisa plana*, sugiriendo su papel como predador principal de esta, en las plantaciones de palma de aceite (Jamian *et al.*, 2015). Se desarrolló un método para la cría masiva de los insectos predadores (Prawirosukarto *et al.*, 1990; Dongoran *et al.*, 2009), que se ha implementado regularmente para mantener y aumentar sus poblaciones en algunas plantaciones de Indonesia.

Además de los depredadores, los insectos parasitoides también juegan un papel importante para controlar las poblaciones de orugas defoliadoras. *Brachymeria lasus*, *Spinaria spinator*, *Fornicia ceylonica*, *Apanteles aluella*, *A. metisae* y *Trichogrammatoidea thouseae* están entre aquellos que cuentan con un alto nivel de parasitismo sobre estas. El análisis de larvas parasitadas de *M. corbetti* muestra que el 60 % de las orugas jóvenes fueron parasitadas por *Apanteles* sp. y que el 20 % de las más adultas lo fueron por taquínidios (Syed & Saleh, 1998). En otra observación, con la presencia de *B. lasus* y *C. arcufer*, la población de *M. plana* se redujo de 38 larvas/hoja a menos de 10 larvas/hoja en cuatro años (Mariau *et al.*, 1991). En Malasia se presentó una reducción de más del 30 % de *M. plana* con la presencia de sus parasitoides (Cheong *et al.*, 2010). A pesar de su efectividad, en Indonesia no se ha reportado la crianza masiva de parasitoides para controlar los brotes de plagas de insectos.

Parece que la composición de la vegetación es uno de los factores que influyen en la abundancia de predadores y parasitoides en plantaciones de palma de aceite. La ocurrencia de predadores y las tasas de depredación fueron mayores cerca de los bordes de los lotes, donde hay otros tipos de vegetación como arbustos o bosque secundario (Nurdiansyah *et al.*, 2016). La investigación también demostró que las tasas de depredación disminuyeron significativamente al alejarse de los bordes. Esto sugiere que es necesario diversificar la vegetación para apoyar a los enemigos naturales al interior de la plantación de palma de aceite.

Uno de los enfoques para promover la diversificación es mantener hileras de maleza entre los surcos de palma de aceite. En otro estudio, se encontró que la población de insectos benéficos era mayor en plantaciones en las que abundan las hileras de maleza y

las malezas epífitas (Suzanti *et al.*, 2016). Un planteamiento más popular para aumentar la población de predadores y parasitoides, es la introducción de plantas beneficiosas, tales como *Antigonon leptopus*, *Cassia cobanensis*, *C. tora*, *Euphorbia heterophylla*, *Tenera subulata* o *T. ulmifolia* (Basri *et al.*, 1999). Saleh y Siregar (2017) demostraron que el número de predadores y parasitoides era mayor en bloques en los que se había plantado *A. leptopus* o *T. subulata*. Así, se logró mantener la población de *Setothosea assigna* por debajo del umbral económico durante dos años consecutivos. En contraste, se registraron tres brotes de *S. assigna* en bloques sin plantas beneficiosas. Hoy en día, el cultivo de estas plantas es una práctica común en la mayoría de plantaciones de palma de aceite en Indonesia.

Uso de hongos entomopatógenos para controlar insectos plaga

Metarhizium anisopliae, *Beauveria bassiana* y *Cordyceps militaris* son tres de los principales hongos entomopatógenos que han sido utilizados para controlar insectos plaga en las plantaciones de palma de aceite en Indonesia (Prawirosukarto *et al.*, 1997; Susanto *et al.*, 2005; Soetopo & Indrayani, 2007; Priwiratama & Susanto, 2014). De estos, *M. anisopliae* es el más popular entre los cultivadores. A pesar de tener un amplio rango de hospedadores (Stolz, 1999), es conocido por su desempeño en contra del escarabajo rinoceronte, *Oryctes rhinoceros* (Bedford, 2013). La infección natural de *M. anisopliae* sobre las larvas de *O. rhinoceros* fue reportada por primera vez en los 60 (Wood, 1968), y el primer intento para controlar las larvas se realizó en los 70 (Latch & Falloon, 1976). De las múltiples variedades identificadas, *M. anisopliae* var. *major* es la más patogénica contra *O. rhinoceros* (Tulloch, 1979). Desde este hallazgo, se han realizado múltiples investigaciones en términos de su biología y eficacia en contra del escarabajo rinoceronte (Susanto *et al.*, 2005; Ramle *et al.*, 2006; Priwiratama y Susanto, 2014).

La propagación en masa de *M. anisopliae* en Indonesia comenzó en los años 80, utilizando maíz partido como sustrato sólido para la esporulación. Una prueba de eficacia demostró el potencial de este hon-

go para ser desarrollado comercialmente como una herramienta biológica para controlar el *O. rhinoceros* (Sitepu *et al.*, 1988). Pero no fue sino hasta la década del 2000 que se realizó una aplicación de *M. anisopliae* a gran escala para reducir la población de escarabajos en las plantaciones de palma de aceite en Indonesia (Susanto *et al.*, 2006; Susanto *et al.*, 2007a). El primer intento se realizó en Teluk Dalam, provincia de Riau, donde viven abundantes larvas de *Oryctes* en racimos vacíos de fruta (RFV) en el sistema de siembra de agujeros grandes (Susanto *et al.*, 2006). Una medida curativa que utiliza 100 g de *M. anisopliae* por agujero fue exitosa al reducir la población de larvas con una mortalidad de hasta el 75 %, siete semanas después de la aplicación (SDA). El tratamiento se repitió en diferentes sitios y causó una reducción de más del 50 % en el mismo lapso de tiempo. El siguiente año, dos fórmulas de *M. anisopliae* desarrolladas comercialmente, en polvo y en gránulos, fueron aplicadas con éxito en una dosis de 20 g/m² por RFV en el distrito de Asahan, Sumatra Septentrional, Indonesia (Susanto *et al.*, 2007a). La fórmula en polvo tiene un mejor rendimiento en campo, con una mortalidad de larvas 15 % más alta que el gránulo. El primer signo de infección se detectó de 10 a 14 días después de la aplicación (DDA), con una mortalidad máxima de seis a siete semanas. En ambos sitios y al año siguiente, se observó una infección recurrente de *M. anisopliae*, la cual sugiere que el hongo tenía la capacidad de sobrevivir en el campo.

La aplicación de *M. anisopliae* suele combinarse con otras medidas de control para aumentar la tasa de éxito, particularmente cuando la materia orgánica es abundante en el campo. Por ejemplo, en plantaciones de turba, el *O. rhinoceros* es capaz de vivir en el suelo, ya que este está compuesto de desechos orgánicos. En esta situación, la sola aplicación de *M. anisopliae* se vuelve menos eficiente, ya que se requeriría una gran cantidad para cubrir toda el área. Por lo tanto, se realiza un enfoque más específico, junto con el trapeo orgánico (Simanjuntak *et al.*, 2011). La trampa, compuesta de RFV mezclados con *M. anisopliae* y cebos (feromona agregada), pretende atraer el escarabajo *Oryctes* de manera que no pongan sus huevos en el suelo. Las larvas que se desarrollan no pueden seguir creciendo, ya que se infectan con el hongo. Se adoptó un ensayo similar para controlar la población de *Oryctes* en plantaciones

de coco, con gran éxito seis meses después de la aplicación (Witjaksono *et al.*, 2015).

Además del *O. rhinoceros*, *M. anisopliae* también tiene una gran potencia contra *Coptotermes curvignathus*, una de las principales especies de termita que ataca la palma de aceite (Rozziansha *et al.*, 2013; Khairunnisa *et al.*, 2014; Yii *et al.*, 2015). Durante una prueba de campo, se aplicaron esporas del hongo (10^8 /ml) junto con un cebo de cartón en un sistema de cebado de termitas (TBS) (Rozziansha *et al.*, 2013). El resultado mostró una reducción significativa en los ataques, 45 DDA en un bloque tratado. Se están realizando ensayos para este método en varios sitios.

Junto a *M. anisopliae*, se ha reportado la infección de *B. bassiana* en varios insectos plaga de la palma de aceite, incluyendo el gusano canasta, orugas urticantes, escarabajos, gorgojos y termitas (Ramlah Ali *et al.*, 1993; Ramle *et al.*, 1995; Dembilio *et al.*, 2010; Tajuddin *et al.*, 2010; Ginting *et al.*, 2013; Susanto *et al.*, 2013). A pesar de que se han realizado pruebas de patogenicidad que resultaron prometedoras, la información trazable de su aplicación en el campo es insuficiente. La infección de *B. bassiana* en insectos plaga de la palma de aceite en Indonesia, se registró desde los 80 (Sipayung *et al.*, 1988). Sin embargo, el progreso en el desarrollo de este hongo como un agente de control biológico es lento, y desde entonces solo existe un reducido número de investigaciones sobre su eficiencia en el campo. Quizás se encontraron buenos ejemplos de eficiencias a pequeña escala en Indonesia en contra de *Darna trima* y la termita *C. curvignathus* (Ginting *et al.*, 2013; Susanto *et al.*, 2013). La aplicación de *B. bassiana* en una fórmula efervescente logró causar una mortalidad del 100 % de *D. trima* en viveros, sugiriendo un gran potencial para utilizar la fórmula en pruebas a gran escala (Susanto *et al.*, 2013). Otro estudio, en el que se aplicó composta mezclada con *B. bassiana*, como trampa orgánica para controlar los ataques de *C. curvignathus* en una plantación de turba, también mostró resultados prometedores (Ginting *et al.*, 2013).

La búsqueda de un virus contra *Oryctes* comenzó en los años 50, cuando el escarabajo destruyó palmas de coco en muchas regiones, particularmente en el Pacífico Sur.

A diferencia de *M. anisopliae* y *B. bassiana*, *C. militaris* tiene un estrecho rango de hospedadores. Este hongo es altamente patogénico contra las orugas urticantes, que infecta principalmente las pupas (Evans, 1987; De-Chenon *et al.*, 1990). Los esfuerzos para su producción en masa y uso en las plantaciones de palma de aceite en Indonesia, comenzaron en los 90 (Papierok *et al.*, 1993; Wibowo *et al.*, 1994). En 1996, se inició una prueba de eficiencia del hongo contra *Setothosea asigna*, utilizando maíz quebrado como sustrato sólido (Pardede *et al.*, 1996). En el estudio, la mortalidad de pupas de *S. asigna* varió entre el 40 y el 80 %, sugiriendo la potencia del uso de este hongo. Infortunadamente, no logramos encontrar reportes de la aplicación de *C. militaris* a gran escala. Quizás, esto se debe a que la recolección manual de pupas es mucho más efectiva para reducir directamente su población en el campo (Susanto *et al.*, 2012b).

Desarrollo de virus como agente de control biológico contra escarabajo rinoceronte y oruga urticante

La búsqueda de un virus contra *Oryctes* comenzó en los años 50, cuando el escarabajo destruyó palmas de coco en muchas regiones, particularmente en el Pacífico Sur. No obstante, esta empresa no tuvo éxito (Huger, 2005). En 1963 se detectó el primer signo de infección patógena en larvas de *Oryctes* en una plantación de palma de aceite en Malasia, que después fue confirmada como una infección por virus (Huger, 1966). La primera introducción del virus en Samoa

llevó a una reducción dramática en la población de *Oryctes* en toda la isla (Marschall, 1970). Desde entonces, se ha difundido en muchas regiones en las que se han reportado daños a las plantaciones de palma de coco y de aceite (Hammes, 1978; Gorick, 1980; Young & Longworth, 1981; Zelazny & Alfiler, 1991), incluyendo Indonesia (Zelazny *et al.*, 1992; De-Chenon *et al.*, 1998). Sin embargo, en las últimas décadas, el virus ha recibido poca atención y la investigación para explorar su uso potencial para el control de *Oryctes* en las plantaciones de palma de aceite de Indonesia, ha sido limitada.

En 2014 se realizó una prueba de campo a gran escala de *Oryctes* nudivirus (ORNV) en el distrito de Siak, en la provincia de Riau (Mohd Naim *et al.*, 2016). La liberación de larvas y escarabajos infectados mostró un efecto adverso en la población de *Oryctes* en los bloques tratados. La población se mantuvo en 3,3 larvas/m² y en 11,8 escarabajos/trampa/día, menor que en los bloques no tratados, con 12,2 larvas/m² y 17,5 escarabajos/trampa/día. Creemos que en el futuro cercano habrá más investigaciones que indaguen sobre el potencial de ORNV en Indonesia.

En contraste con el virus *Oryctes*, se han realizado varios estudios para promover baculovirus como un agente de control biológico en contra de la oruga urticante, desde su introducción en la década de los 80 (Sipayung *et al.*, 1989). La primera prueba de campo se llevó a cabo en Sumatra Septentrional, utilizando savia cruda de larvas de *Setora nitens* infectadas a una dosis de 270 g/ha. La aplicación del virus redujo con éxito la población de *S. nitens* hasta 76 % 12 DDA (Si-

payung *et al.*, 1989). El autor también menciona una relación específica de la especie, en la que el virus de larvas *S. nitens* infectadas no fue efectivo en contra de *S. asigna*. Posteriormente, se buscó la infección natural del virus sobre *S. asigna* en todo Indonesia. La identificación mostró que la larva fue infectada por un baculovirus conocido como virus de la poliedrosis nuclear múltiple (VPNM) (Sudharto *et al.*, 1995). La aplicación inicial de 400 g de savia cruda de larvas infectadas por hectárea, logró reducir la población de *S. asigna* en palmas maduras con una tasa de mortalidad del 98,3 %, 20 DDA. Adicionalmente, ese mismo año, la aplicación frecuente de VPMN durante siete meses consecutivos logró suprimir y mantener la población de *S. asigna* bajo control durante dos años (Sudharto *et al.*, 1997). Desde entonces, el virus ha sido introducido en las plantaciones de palma de aceite en Indonesia, para mantener la población de *S. nitens* y *S. asigna*.

En el siglo XX, el uso del VPMN se ha vuelto común para controlar la oruga urticante en grandes plantaciones comerciales. Se realizó una aplicación intensiva de VPMN (250-500 ml/ha) en conjunto con *Bacillus turhingiensis* (750 g/ha) para reducir rápidamente la población de *S. asigna* de solo 8,8 a 1,9 larvas por hoja, en menos de un mes (Cahyasiwi *et al.*, 2010). Esta se mantuvo exitosamente por debajo del umbral económico, durante dos años consecutivos, gracias a la aplicación continua de ambos agentes. El censo en campo mostró que se observaba infección recurrente de VPMN en bloques tratados, sugiriendo el establecimiento del virus en el mismo. En términos de frecuencia de aplicación, solo seis rondas de VPMN fueron necesarias para mantener la población de *S. asigna* controlada durante dos años, en comparación con 12 rondas de insecticida.

En las últimas dos décadas, rara vez se usó el virus en palmas adultas debido a la preocupación de que la fumigación reduciría su desempeño. Sin embargo, si bien las aplicaciones en campo no han sido debidamente documentadas, sugieren que el virus puede admi-

A pesar de los impactos positivos, el uso generalizado de VPMN en Indonesia todavía está muy por debajo del uso de insecticidas, quizás debido a la falta de comprensión en la detección, recolección y almacenamiento de larvas infectadas; especialmente en plantaciones que no cuentan con recursos de investigación y desarrollo.

nistrarse con una herramienta de fumigación, particularmente el tanque doble K-22 Bio. Durante una prueba para controlar *S. asigna* en palmas adultas, se aplicó el virus utilizando una máquina de fumigación con Lambda Cihalotrin (Priwiratama & Susanto, 2014). Los resultados mostraron que el vPNM lograba reducir la población de *S. asigna* en un 90 % 14 DDA, una tasa similar a la de la mortalidad de larvas con el uso del insecticida.

A pesar de los impactos positivos, el uso generalizado de vPNM en Indonesia todavía está muy por debajo del uso de insecticidas, quizás debido a la falta de comprensión en la detección, recolección y almacenamiento de larvas infectadas; especialmente en plantaciones que no cuentan con recursos de investigación y desarrollo. A pesar de que se ha introducido un método simple para propagar el virus en laboratorios (Simanjuntak & Susanto, 2011), la industria necesita con urgencia una formulación lista para utilizar. Recientemente se desarrolló una en polvo de vPNM utilizando productos naturales (Simanjuntak *et al.* 2016). La eficiencia inicial en invernadero mostró un resultado prometedor, con una mortalidad de más del 80 % de larvas de *S. asigna* tres DDA. Las pruebas de campo a gran escala están programadas y las conclusiones serán informadas en el futuro cercano.

El papel de *Bacillus thuringiensis* en el control de orugas defoliadoras de palma de aceite

Bacillus thuringiensis (Bt) es una bacteria grampositiva con apariencia de bastón y que forma esporas. Ha sido ampliamente utilizada como agente de control biológico para insectos plaga en cultivos comerciales (Morris *et al.*, 1997), incluyendo la palma de aceite (Basri *et al.*, 1994). Bt es tan popular que se puede encontrar con facilidad en el mercado. Durante décadas, esta bacteria ha sido empleada en Indonesia para controlar la oruga urticante, el gusano del saco y la polilla del racimo (Sipayung & Sudhartha, 1985; Sipayung, 1991; Ginting *et al.*, 1995; Prasetyo *et al.*, 2018).

En los 90 se realizó un estudio de varios aislamientos autóctonos de Bt en contra de *S. asigna*. La mortalidad de larvas varió de 3,3 a 43,3 %, significativamente más

baja en comparación con la formulación comercial de Bt, que variaba de 96,6 a 100 % en intervalos de tiempo similares (Pardede, 1992). En otra prueba de campo, Bt comercial esparcido a una dosis de 250 ml/ha logró matar larvas de *S. asigna* a más del 80 % tres DDA, mortalidad que aumentaba a más del 95 % con siete DDA (Rozziashya y Prasetyo, 2017a). El estudio sugiere la necesidad de un uso repetido para prevenir la recurrencia de ataques de *S. asignay* mantener la población de orugas urticantes bajo control. Esto fue demostrado en la finca Bukit Sentang, en Sumatra Septentrional, cuando se realizó una aplicación continua y a gran escala de Bt en contra de ataques múltiples de *D. trima* y *S. asigna* (Pardede, 1992). El tratamiento redujo con éxito el área total infestada de 163 ha a tan solo tres ha en menos de un año. Con una aplicación consistente, la población de *D. trima* y *S. asigna* se mantuvo por debajo del umbral económico durante cinco años consecutivos (Pardede, 1992; Pardede *et al.*, 1996).

Se ha reportado que el uso de Bt para superar los brotes de gusanos del saco ha tenido gran éxito en Malasia e Indonesia (Susanto, 2010; Ramlah *et al.*, 2013; Ahmad *et al.*, 2017; Kamarudin *et al.*, 2017). En Johor, Malasia, la aspersión aérea y continua de Bt logró reducir la población de *M. plana* en hasta 90,8 % en seis meses (Kamarudin *et al.*, 2017). En Indonesia, se logró una reducción significativa en el distrito de Baturabara, Sumatra Septentrional (Susanto, 2010). En otro sitio, la mortalidad de *M. plana* se encontró entre el 94 y el 98 % a los siete días de la aspersión de Bt. Además, la bacteria fue utilizada para controlar *Mahase-na corbetti* en palmas de aceite maduras y altas. El Bt fue suministrado por máquinas de aspersión de uno y dos tanques, para garantizar la cobertura del dosel de la palma. Sorprendentemente, se observó una mortalidad de más del 90 % con ambos equipos de fumigación (Rozziashya y Prasetyo, 2017b). La clave del éxito es la solución homogénea de Bt-combustible-agua en el momento apropiado de aplicación.

Durante los últimos cinco años hemos observado un aumento en los ataques de la polilla del racimo *Tirathaba rufivena* en Riau y Borneo, especialmente en plantaciones donde predomina la turba y el suelo arenoso. Daños severos ocurrían comúnmente en palmas jóvenes maduras de entre tres y siete años de edad. En respuesta, se aplicó una aspersión de Bt a largo plazo en el distrito de Indragiri Hulu, en Riau

(Prasetyo *et al.*, 2018). Esta se realizó en intervalos de dos semanas y durante nueve meses consecutivos en palmas de siete años de edad, que fueron altamente atacadas por *T. rufivena*. Los resultados mostraron que la población de larvas se redujo significativamente después de cuatro meses de aspersión, a pesar de la superposición de etapas de los insectos (Prasetyo *et al.*, 2018). Adicionalmente, y luego de cinco meses, se eliminaron por completo los ataques de la polilla del racimo. El estudio también incluyó los efectos a largo plazo de la exposición a Bt del gorgojo polinizador *Elaeidobius kamerunicus*. La población de este no se vio afectada, indicando el uso seguro de Bt para el insecto benéfico. Una pesquisa anterior, también mostró que la aplicación de Bt no tenía efectos negativos en el gorgojo polinizador (Najib *et al.*, 2009).

Nematodo entomopatógeno

La investigación para explorar los nematodos como agente de control biológico de *O. rhinoceros* comenzó en la última década a través del aislamiento de un nematodo parásito conocido como *Steinernema carpocapsae*, encontrando que este era altamente patógeno para las larvas de *Oryctes* (Novilih, 2010b; Sari *et al.*, 2011). El estudio de laboratorio mostró un resultado prometedor en el que *S. carpocapsae* causó hasta 100 % de infección en larvas del tercer estadio (Novilih, 2010a). En contraste, la prueba de campo posterior al bioensayo resultó decepcionante. Había menos de 1 % de larvas de *Oryctes* infectadas por el nematodo. El estudio sugirió que la aplicación del nematodo se puede ver altamente afectada por las condiciones ambientales. Desde entonces, ha habido varias investigaciones sobre el potencial de *S. carpocapsae* y *Heterorhabditis* sp. contra larvas de *Oryctes* en laboratorios o invernaderos, pero ninguna ha demostrado ser efectiva en el campo.

Trampas de feromonas como enfoque amigable con el ambiente para el control de plagas de coleópteros

La captura con feromonas (ferotrampas) se ha convertido, sin lugar a dudas, en una herramienta im-

portante en el manejo integrado de plagas (MIP) para controlar, particularmente a *O. rhinoceros* en plantaciones de palma de aceite. El descubrimiento del etil-4-metiloctanoato (E4-MO) en los 90, ha afectado enormemente las estrategias de control del *O. rhinoceros* en Indonesia (De-Chenon *et al.*, 1997). Básicamente, el compuesto es un agregado de feromonas del escarabajo macho de *O. rhinoceros* (Hallett *et al.*, 1995). Desde el 2006, la feromona ha sido producida sintéticamente por el Instituto Indonesio de Investigación de la Palma de Aceite (IOPRI, por sus siglas en inglés) y está disponible comercialmente en un dispensador de liberación retardada, que puede durar hasta tres meses en el campo (Utomo *et al.*, 2006; Susanto *et al.*, 2012c). Este agregado resulta mejor para atraer escarabajos *Oryctes* en comparación con el crisantemato de etilo (Hallett *et al.*, 1995).

Las ferotrampas no solo son efectivas para la captura masiva de escarabajos; también son una herramienta para monitorear las poblaciones de estos en el campo (Chung, 1997; Purba *et al.*, 2001; Norman y Basri, 2004; Utomo *et al.*, 2006; Tobing *et al.*, 2007). Se han probado varios tipos (De-Chenon *et al.*, 1997; De-Chenon *et al.*, 2001; Prasetyo *et al.*, 2009; Rozziansha & Susanto, 2012), de las que la de doble aspa y soporte de PVC son las más efectivas. La trampa funciona mejor al ubicarse entre tres y cuatro metros por encima del suelo, a una densidad de una trampa por dos ha (Susanto *et al.*, 2012a).

El uso de la ferotrampa de E4-MO para controlar los brotes de *Oryctes* fue demostrado en la finca Sei Rokan, en Riau, donde se llevaron a cabo experimentos con intervalos de tres meses durante un periodo de un año (Susanto *et al.*, 2007b). El resultado mostró una reducción significativa de escarabajos atrapados, desde 16 escarabajos/trampa/mes a solo un escarabajo/trampa/mes (Figura 1), con un total de 146.289 escarabajos capturados al final de la observación. El empleo sucesivo de ferotrampas se detuvo después de que la intensidad de los ataques se redujo a menos del 5 %. Desde entonces, la población de *O. rhinoceros* se ha mantenido por debajo del umbral económico, con el uso regular de ferotrampas en la finca.

Actualmente, la instalación de ferotrampas es una práctica común y controla el *O. rhinoceros* en plantaciones comerciales y de pequeños productores. En al-

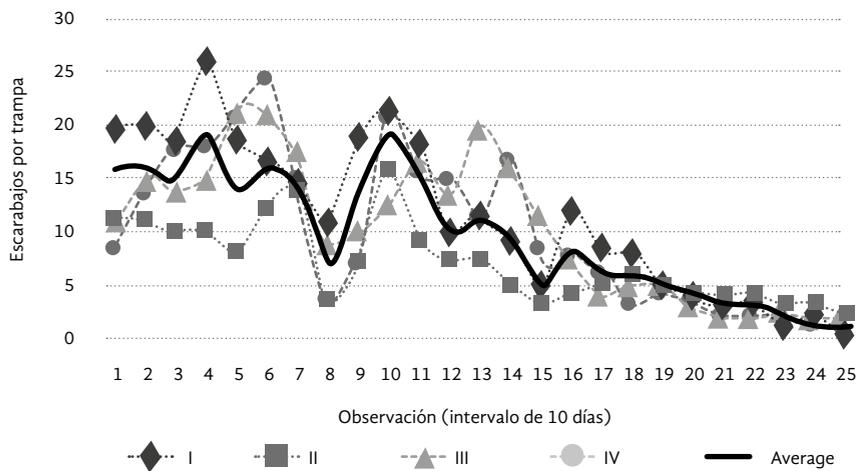


Figura 1. Promedio de escarabajos *Oryctes* capturados en Afdeling I-IV, finca Sei Rokan, de octubre de 2005 a septiembre de 2006.

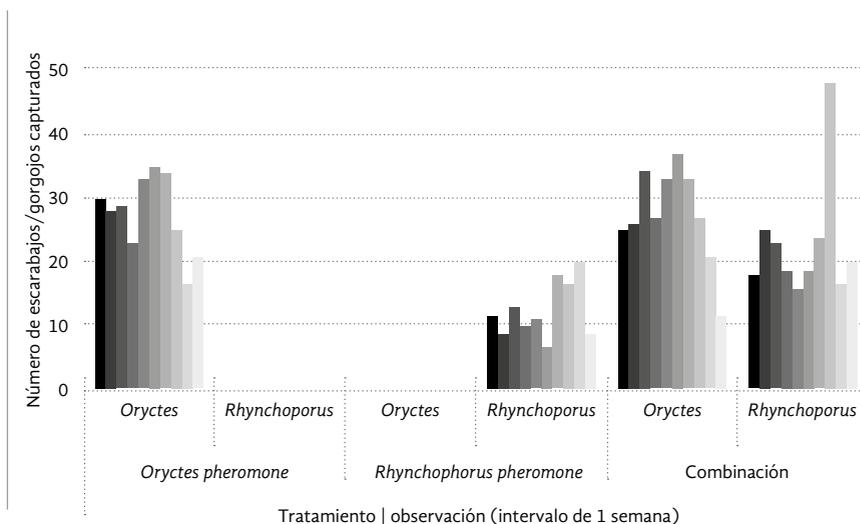


Figura 2. Aplicación de trampas orgánicas en turba.

gunos casos, se combina con otros métodos para mejorar su efectividad. En turba, por ejemplo, un enfoque integrado que combine el uso de feromonas, RFV y *M. anisoplae* para formar trampas orgánicas (Figura 2), es esencial para reducir efectivamente la población originaria, así como para prevenir la ocurrencia de una nueva generación de escarabajos. Un estudio de campo demostró que las trampas orgánicas atraen más escarabajos que la sola ubicación de ferotampas o trampas de RFV (Simanjuntak *et al.*, 2011). De igual manera, el E4-MO también puede combinarse con ORNV para mejorar la captura-liberación de *Oryctes* y así aumentar la potencia de transmisión del virus en el campo.

Además de E4-MO, en Indonesia también se produjo una feromona sintética a partir del picudo rojo *Rhynchophorus ferrugineus*: la 4-metil-5-nonanol (4N-5N). Esta fue probada en conjunto con E4-MO, resultando en un efecto sinérgico de trampa de *Rhynchophorus* (Susanto *et al.*, 2007a; Prasetyo *et al.*, 2009). La eficiencia en campo mostró, según las predicciones, un efecto específico en el que cada feromona atrae su propia especie (Figura 3). Mientras tanto, en la trampa combinada, que contiene una solución premezclada de E4-MO y 4N-5N, el número de *Rhynchophorus* capturados aumentó significativamente en comparación con su aplicación individual.

Figura 3. Escarabajos capturados dentro de las 10 semanas siguientes a la instalación de doble feromona en la región de Rengat, Riau.



Resumen y desafíos

La conservación de los agentes de control biológico es la base para el manejo de insectos plaga en plantaciones de palma de aceite. Promover la población enemiga nativa, parece ser la manera más efectiva de controlarlos, en vez de introducir agentes exóticos de control biológico. Esto se logra mejor a través de enfoques ecológicos. Uno de los esfuerzos es aumentar la heterogeneidad del paisaje que proporciona fuentes adicionales de alimento, nidos y protección contra los enemigos naturales, por ejemplo, sembrando plantas con flores beneficiosas y manteniendo hileras de maleza en los bloques de siembra. A pesar de que las prácticas de control biológico han aumentado de alguna manera, continúa siendo un componente pequeño del manejo general de insectos plaga en las plantaciones de palma de aceite en Indonesia.

Encontramos que el uso limitado de productos de control biológico (hongos, virus y bacterias) en muchas plantaciones, no se debe principalmente a su desempeño contra los insectos plaga específicos, sino a varios problemas técnicos. Estos son el periodo corto de almacenamiento debido a la rápida disminución de

su viabilidad y patogenicidad; el alto volumen de producto que se requiere para la aplicación a gran escala, que a menudo no está disponible en altas cantidades; y al problema de ineficiencia. Por lo tanto, suministrar estas formulaciones de productos de control biológico sigue siendo un gran desafío. Aunque se realizó un gran avance en la formulación con la invención de una tableta efervescente que contiene hongos y bacterias entomopatógenos (Priwiratama & Susanto, 2014), el uso del producto en las plantaciones de palma de aceite es insuficiente, quizás debido a la falta de promoción. No obstante, los investigadores están prestando atención a los problemas y se espera que en el futuro cercano surjan más formulaciones de vanguardia.

Por último, pero no menos importante, la educación a los cultivadores sobre los impactos beneficiosos del control biológico en el manejo de los insectos plaga de la palma de aceite suele ser insuficiente. Suministrar una acción más directa, como consultorías o asistencias de campo, puede contribuir a un mayor impacto para la implementación sostenible de controles biológicos en plantaciones de palma de aceite, y es aquí donde el gobierno puede desempeñar su papel.

Referencias

- Ahmad, M. N., Kamarudin, N., Ahmad, S.N., Arshad, O., Masri, M. M. M., Moslim, R., & Kushairi, A. (2017). Efficacy of pheromone trapping and aerial spraying of *Bacillus thuringiensis* (Bt) for controlling bagworm, *Metisa plana* Walker (Lepidoptera: Psychidae) in Yong Peng, Johor, Malaysia. *Journal of Oil Palm Research*, 29(1), 55-65.
- Basri, M., Norman, K., & Hamdan, A. (1995). Natural enemies of the bagworm, *Metisa plana* Walker (Lepidoptera: Psychidae) and their impact on host population regulation. *Crop Protection*, 14(8), 637-645.
- Basri, M. W., Simon, S., Ravigadevi, S., & Othman, A. (1999). Beneficial plants for the natural enemies of the bagworm in oil palm plantation. In: *Proceeding of 1999 International Palm Oil Congress: Emerging Technologies and Opportunities in the next millenium*, at Kuala Lumpur, Malaysia.
- Basri, W., Ramlah, A., & Norman, K. (1994). Status report on the use of *Bacillus thuringiensis* in the control of some oil palm pests. *Elaeis*, 6(2), 82-101.
- Bedford, G. O. (2013). Biology and Management of Palm Dynastid Beetles: Recent Advances. *Annual Review of Entomology*, 58(1), 353-372.
- Cahyasiwi, L., Wood, B., Lubis, F., & Caudwell, R. (2010). The economics of *Oryctes* attack in oil palm replants. In: *Proceedings of the International Oil Palm Conference*, 1-3 June 2010, Yogyakarta.
- Cheong, Y., Sajap, A., Hafidzi, M., Omar, D., & Abood, F. (2010). Outbreaks of bagworms and their natural enemies in an oil palm, *Elaeis guineensis*, plantation at Hutan Melintang, Perak, Malaysia. *Journal of Entomology*, 7(3), 141-151.
- Chung, G. F. (1997). The bioefficacy of the aggregation pheromone in mass trapping of *Oryctes rhinoceros* (L) in Malaysia. *The Planter*, 73(852), 119-127.
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2016). *The Oil Palm* (5 ed.). Chichester, UK: Blackwell Science Ltd.
- De-Chenon, R. D., Asmady, H., & Sudharto, P. (2001). New improvement of pheromone traps for the management of the rhinoceros beetle in oil palm plantations. In: *Proceeding of PIPOC 2001 International Palm Oil Congress*, at Kuala Lumpur, Malaysia.
- De-Chenon, R. D., Ginting, C.U., Asmady, H., Sudharto, P., & Sipayung, A. (1998). Importance of rhinoceros beetles in mature oil palm plantations for effective biocontrol. In: *Proceeding of the International Oil Palm Conference 1998, 23-25 December 1998*, at Nusa Dua, Bali.
- De-Chenon, R. D., Ginting, C. U., & Sipayung, A. (1997). Pengendalian kumbang *Oryctes rhinoceros* pada tanaman kelapa sawit secara terpadu. In: *Proceeding of Pertemuan Teknis Kelapa Sawit 1997*, at Jakarta.
- De-Chenon, R. D., Sudharto, P., & Sipayung, A. (1990). Prospects in the use of a fungal pathogen from the genus *Cordyceps* (Ascomycotina) for microbiological control of nettle caterpillars (Limacodidae). Paper presented at Kongres I HPTI Indonesia, 8-10 February 1990, Jakarta.
- Dembilio, Ó., Quesada-Moraga, E., Santiago-Álvarez, C., & Jacas, J.A. (2010). Potential of an indigenous strain of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* as a biological control agent against the Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 104(3), 214-221.
- Dongoran, A. P., Susanto, A., & Sinaga, C. F. A. (2009). Daya predasi *Eocanthecona furcellata* (Wolf.) (Homiptera: Pentatomidae) terhadap ulat api di perkebunan kelapa sawit. In: *Proceeding of Pertemuan Teknis Kelapa Sawit 2009, 28-20 Mei 2009*, Jakarta.

- Evans, H. C. (1987). Fungal pathogens of Limacodidae. In *Slug and nettle caterpillars*, edited by M. J. W. Cock, H. C. J. Godfray and J. D. Holloway, 207-212. UK: CAB International.
- Ginting, P. A., Efendi, G., Masculen, N., Martina, A., Herman, Silalahi, A.J., & Sitorus, A. C. (2013). Studies on the uses of compost and *Beauveria bassiana* as trapping and controlling agents respectively for termites (*Coptotermes curvignathus* L.) in peat soil plantations. In: *Proceeding of PIPOC 2013 International Palm Oil Congress: Green opportunities from the golden crop*, at Kuala Lumpur, Malaysia.
- Ginting, U. C., Pardede, D., & Djamin, A. (1995). Formulasi baru *Bacillus thuringiensis* dan pengaruhnya terhadap ulat *Setothosea asigna* Van Eecke pada perkebunan kelapa sawit. *Warta PPKS*, 3(1), 35-38.
- Gitau, C. W., Gurr, G. M., Dewhurst, C. F., Fletcher, M. J., & Mitchell, A. (2009). Insect pests and insect-vectored diseases of palms. *Australian Journal of Entomology*, 48(4), 328-342.
- Gorick, B. D. (1980). Release and establishment of the baculovirus disease of *Oryctes rhinoceros* (L.) (Coleoptera: Scarabaeidae) in Papua New Guinea. *Bulletin of Entomological Research*, 70(3), 445-453.
- Hallett, R. H., Pérez, A. L., Gries, G., Gries, R., Pierce, H. D., Yue, J., Oehlschlager, A.C., González, L.M., & Borden, J. H. (1995). Aggregation pheromone of coconut rhinoceros beetle, *Oryctes rhinoceros* (L.) (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Chemical Ecology*, 21(10), 1549-1570.
- Hammes, C. (1978). Estimation of the effectiveness of *Rhabdionvirus oryctes* (Huger) for controlling *Oryctes rhinoceros* (L) by means of a study of the changes in damage in Mauritius. *Revue Agricote et Sucriere de l'lie Maurice*, 57(4-18).
- Huger, A. M. (1966). A virus disease of the Indian rhinoceros beetle, *Oryctes rhinoceros* (linnaeus), caused by a new type of insect virus, *Rhabdionvirus oryctes* gen. n., sp. n. *Journal of Invertebrate Pathology*, 8(1), 38-51.
- Huger, A. M. (2005). The *Oryctes* virus: Its detection, identification, and implementation in biological control of the coconut palm rhinoceros beetle, *Oryctes rhinoceros* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Invertebrate Pathology*, 89(1), 78-84.
- Jamian, S., Norhisham, A., Ghazali, A., Zakaria, A., & Azhar, B. (2015). Impacts of two species of predatory *Reduviidae* on bagworms in oil palm plantations. *Insect science*, 24(2), 285-294.
- Kamarudin, N., Ali, S. R. A., Masri, M. M. M., Ahmad, N., & Manan, C.A.H.C. (2017). Controlling *Metisa plana* Walker (Lepidoptera: Psychidae) outbreak using *Bacillus thuringiensis* at an oil palm plantation in Slim River, Perak, Malaysia. *Journal of Oil Palm Research*, 29(1), 47-54.
- Kamarudin, N., & Wahid, M. B. (2010). Interactions of the bagworm, *Pteroma pendula* (Lepidoptera: Psychidae), and its natural enemies in an oil palm plantation in Perak. *Journal of Oil Palm Research*, 22(April), 758-764.
- Khairunnisa, A., Martina, A., & Titrawani. (2014). Uji efektivitas jamur *Metarhizium anisopliae* Cps.T.A isolat lokal terhadap hama rayap (*Coptotermes curvignathus*). *JOM FMIPA*, 1(2), 2014.
- Latch, G. C. M., & Falloon, R. E. (1976). Studies on the use of *Metarhizium anisopliae* to control *Oryctes rhinoceros*. *Entomophaga*, 21(1), 39-48.
- Mariau, D., De-Chenon, R. D., & Sudharto, P. (1991). Oil palm insects pests and their enemies in Southeast Asia. *Oléagineux*, 46, 400-476.
- Marschall, K. J. (1970). Introduction of a New Virus Disease of the Coconut Rhinoceros Beetle in Western Samoa. *Nature*, 225, 288.

- Mohd-Naim, A. A., Aryawan, K., Rudi, H. W., and Caliman, J.P. (2016). Control of *Oryctes rhinoceros* through mass release of *Oryctes* larvae and imago infected by *Oryctes nudivirus* (OrNV). In: *Proceeding of the 6th IOPRI-MPOB International Seminar: Current Research and Management of Pests, Ganoderma, and Pollination in Oil Palm for Higher Productivity*, at Medan, Indonesia.
- Morris, O. N., P. Kanagaratnam, P., and Converse, V. (1997). Suitability of 30 Agricultural Products and By-Products as Nutrient Sources for Laboratory Production of *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* (HD133). *Journal of Invertebrate Pathology*, 70(2), 113-120.
- Najib, M. A., Ramlah, S. A. A., Mazmira, M. M., & Basri, M. W. (2009). Effect of *Bacillus thuringiensis*, Terakil-1 and Teracon-1 against oil palm pollinator, *Elaeidobius kamerunicus* and beneficial insects associated with *Cassia cobanensis*. *Journal of Oil Palm Research*, 21(4), 667-674.
- Norman, K., & Basri, M. W. (2004). Immigration and activity of *Oryctes rhinoceros* within a small oil palm replanting area. *Journal of Oil Palm Research*, 16(2), 64-77.
- Norman, K., & Basri, M. W. (2007). Status of common oil palm insect pests in relation to technology adoption. *Planter*, 83(975), 371-385.
- Norman, K., Ramle, M., Mazmira, M. M., Mohd-Najib, A., & Ramlah, A. (2011). Bagworms and *Oryctes*: Advances in pests control and management. In: *Proceeding of the Third MPOB-IOPRI International Seminar: Integrated Oil Palm Pests and Diseases Management*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Novilih, D. (2010a). Effectiveness of controlling *Oryctes rhinoceros* L. (Coleoptera: Scarabaeidae) on the oil palm using entomopathogenic nematode (*Steinernema carpocapsae* Weiser). In: *Proceeding of the International Oil Palm Conference 2010*, 1-3 June 2010, Yogyakarta.
- Novilih, D. (2010b). The influence of *Steinernema carpocapsae* Weiser against damage of *Oryctes rhinoceros* L. larvae tissue. In: *Proceeding of the International Oil Palm Conference 2010*, 1-3 June 2010, at Yogyakarta.
- Nurdiansyah, F., Denmead, L. H., Clough, Y., Wiegand, K., & Tschardt, T. (2016). Biological control in Indonesian oil palm potentially enhanced by landscape context. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 232, 141-149.
- Papierok, B., De Chenon, R.D., Freulard, J.M., & Suwandi, W. P. (1993). New perspectives in the use of a *Cordyceps* fungus in the biological control of nettle caterpillars in oil palm plantations. In: *Proceeding of PIPOC 1993 International Palm Oil Congress: Update and Vision*, 10-25 September, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Pardede, D. (1992). Kajian pengendalian hama terpadu *Darna trima* Moore (Lepidoptera: Limacodidae) pada tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Buletin Perkebunan*, 23(2), 103-114.
- Pardede, D., Ginting, C. U., & Wibowo, H. (1996). Pengendalian hama terpadu ulat pemakan daun kelapa sawit *Setothosea asigna* Van Eecke. In *Laporan hasil penelitian APBN Tahun Anggaran 1995/1996, PPKS-AP2I*.
- Potinen, K., & Saravanan, L. (2013). Natural enemies of oil palm defoliators and their impact on pest population. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, 19(2), 179-184.
- Prasetyo, A. E., López, J., Eldridge, J., Zommick, D., & Susanto, A. (2018). Long-term study of *Bacillus thuringiensis* application to control *Tirathaba rufivena*, along with the impact to *Elaeidobius kamerunicus*, insect biodiversity and oil palm productivity. *Journal of Oil Palm Research*, 30(1), 71-82.
- Prasetyo, A. E., & Susanto, A. (2014). Mewaspada ledakan hama *Pseudoesia desmierdechenoni* pada perkebunan kelapa sawit. *Warta PPKS*, 19(1).

- Prasetyo, A. E., Susanto, A., Utomo, C., & Herawan, T. (2009). The new pherotrapp design to catch *Oryctes rhinoceros* in oil palm plantation. In: *Proceeding of PIPOC 2009 International Palm Oil Congress*, 9-12 November 2009, at Kuala Lumpur, Malaysia.
- Prawirosukarto, S., Djamin, A., & Pardede, D. (1997). Pengendalian ulat pemakan daun kelapa sawit secara terpadu. In: *Proceeding of Pertemuan Teknis Kelapa Sawit 1997 - Pengendalian O. rhinoceros dan UPDKS secara terpadu*, at Jakarta.
- Prawirosukarto, S., Sipayung, A., & De-Chenon, R. D. (1990). Mass rearing method of the predator *Eocanthecona furcellata* (Wolf) (Hemiptera: Pentatomidae, Asopinae) with frozen food. *Buletin PPPM*, 10(1), 22-29.
- Priwiratama, H., & Susanto, A. (2014). Utilization of fungi for the biological control of insect pests and *Ganoderma* disease in the Indonesian oil palm industry. *Journal of Agricultural Science and Technology*, A4 (2A).
- Purba, R. Y., Sudharto, P., & De-Chenon, R. D. (2001). Result of laboratory and field tests about the attraction of organic matter and its synergy with pheromone on the rhinoceros beetle. Paper presented at *Final Meeting of INCO Project No. ERBIC 18 CT 970 199 17-19 September 2001*, at Marihat, Pematang Siantar.
- Ramlah-Ali, A., Wahid, M. B., & Ramle, M. (1993). Pathogenicity test of *Beauveria bassiana* (Balsamo) against oil palm bagworm (*Metisa plana* Wlk). *Elaeis*, 5(2), 92-101.
- Ramlah, S. A. A., Mohd-Najib, A., Mazmira, M. M., Nor-Shalina, A. T., & Norman, K. (2013). Microbial control for pest and disease and its challenges. In: *Proceeding of Palm Oil International Congress (PIPOC) 2013*, at Kuala Lumpur, Malaysia.
- Ramle, M., Basri, M. W., Norman, K., Ramlah, S. A. A., & Noor-Hisham, H. (2006). Research into the commercialisation of *Metarhizium anisopliae* (Hyphomycetes) for biocontrol of oil palm rhinoceros beetle, *Oryctes rhinoceros* (Scarabaeidae), in oil palm. *Journal of Oil Palm Research, Special Issue*, 37-49.
- Ramle, M., Ramlah, S. A. A., Basri, W. M., & Azura, S. S. I. (1995). *In vitro* studies of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and its infection on bagworm, *Metisa plana* Wlk. In: *Proceeding of PORIM 1993 International Palm Oil Congres*.
- Rozziansha, T. A. P., & Prasetyo, A. E. (2017a). Uji efikasi insektisida Dipel SC terhadap ulat api *Setothosea asigna* Van Eecke pada tanaman kelapa sawit menghasilkan Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Rozziansha, T. A. P., & Prasetyo, A. E. (2017b). Uji efikasi insektisida Dipel SC terhadap ulat kantung *Mahasena corbeti* dengan menggunakan *single* dan *double tank fogger* pada tanaman kelapa sawit menghasilkan Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Rozziansha, T. A., Priwiratama, P. H., & Susanto, A. (2012). Existing and emerging bagworms in oil palm plantation in Indonesia. In: *Proceeding of the Fourth IOPRI-MPOB International Seminar: Existing and Emerging Pests and Diseases of Oil Palm* at Bandung, Indonesia.
- Rozziansha, T. A. P., Surlianto, & Susanto, A. (2013). Application of *Metarhizium anisopliae* using termite baiting system technique as preventive measure for *Coptotermes curvignatus* on peat soil. In: *Proceeding of PIPOC 2013 International Palm Oil Congres: Green opportunities from the golden crop*, 19-21 November 2013, at Kuala Lumpur, Malaysia.
- Rozziansha, T. A. P., & Susanto, A. (2012). Desain ferotrapp murah dalam memerangkap kumbang *Oryctes rhinoceros* di perkebunan kelapa sawit. In: *Proceeding of Simposium dan Seminar Nasional Perhimpunan Entomologi Indonesia*, 25 Januari 2012, at Bogor.

- Saleh, A., & Siregar, A. Z. (2017). Impact of natural enemies to leaf eating caterpillar population on oil palm in North Sumatra, Indonesia. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 6(8), 189-192.
- Sari, R., Guntoro, & Apriyanti, I. (2011). Efektivitas nematoda *Steinernema* sp. terhadap mortalitas larva kumbang tanduk (*Oryctes rhinoceros*). *Jurnal Penelitian STIPAP*, 3(1), 14-29.
- Simanjuntak, D., Prasetyo, A. E., & Susanto, A. (2016). Formulation of Nucleo Polyhedral Virus (NPV)-*Setothosea asigna*. In: *Proceeding of the 6th IOPRI-MPOB International Seminar: Current Research and Management of Pests, Ganoderma, and Pollination in Oil Palm for Higher Productivity*, Medan, Indonesia.
- Simanjuntak, D., & Susanto, A. (2011). Re-propagasi Nucleo Polyhedral Virus (NPV)-*Setothosea asigna*. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 19(2), 1-10.
- Simanjuntak, D., Susanto, A., Prasetyo, A. E., & Sebayang, Y. (2011). Pemanfaatan organic trap sebagai pengendali *Oryctes rhinoceros* secara terpadu di perkebunan kelapa sawit. Paper presented at *Seminar nasional Perhimpunan Entomologi Indonesia 2011, 16-17 Februari 2011*, Universitas Padjajaran, Bandung.
- Sipayung, A. (1991). Hama dan penyakit utama pada perkebunan kelapa sawit dan usaha pengendaliannya. Paper presented at *Pertemuan Teknis PTP V*, at Marihat, Sumatera Utara.
- Sipayung, A., De-Chenon, R. D., & Sudharto, P. (1988). Natural enemies of leaf eating Lepidoptera in the oil palm plantations in North Sumatra. *Biotrop Spec. Publ*, 36, 99-120.
- Sipayung, A., De-Chenon, R. D., & Sudharto, P. (1989). Recent work with viruses in the biological control of leaf-eating caterpillars in North-Sumatra Indonesia. In *PORIM International Oil Palm Development*, 5-9 September, at Kuala Lumpur, Malaysia.
- Sipayung, A., & Sudharto, P. (1985). *Pengujian taraf efikasi Dipel WP (Bacillus thuringiensis Berliner) terhadap ulat api Thosea asigna Moore*. Marihat, Pematang Siantar: Pusat Penelitian Marihat.
- Sitepu, D., Kharie, S., Waroka, J. S., & Motulo, H. F. J. (1988). Methods for the production and use of *Metarhizium anisopliae* against *Oryctes rhinoceros*. In *Integrated Coconut Pest Control Project Report*, 104-111. Manado: Coconut Research Institute.
- Soetopo, D., & Indrayani, I. G. A. A. (2007). Status teknologi dan prospek *Beauveria bassiana* untuk pengendalian serangga hama tanaman perkebunan yang ramah lingkungan. *Perspektif*, 6(2), 29-46.
- Stolz, I. (1999). *The effect of Metarhizium anisopliae (Metsch.) Sorokin (Flavoviridae) Gams and Rozypal var. acridum (Deuteromycotina: Hyphomycetes) on non-target Hymenoptera*. Faculty of Science, University of Basel.
- Sudharto, P., Djamin, A., & Pardede, D. (1997). Pengendalian ulat pemakan daun kelapa sawit secara terpadu. In: *Proceeding of Pertemuan Teknis Kelapa Sawit 1997: Pengendalian Oryctes rhinoceros dan UPDKS secara terpadu*, at Jakarta.
- Sudharto, P., Veyrunes, J. C., Bergoin, M., & Djamin, A. (1995). Virus penyebab penyakit susu (Milky disease) pada ulat api pemakan daun kelapa sawit *Setothosea asigna* Van Eecke (Lepidoptera: Limacodidae) di Indonesia *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 3(3), 207-214.
- Susanto, A. (2010). Pengendalian ulat kantong *Metisa plana* secara terpadu pada perkebunan kelapa sawit. In *2010 Research Collaboration Report PPKS-PTP. Nusantara IV*. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Susanto, A., Dongoran, A. P., & Yanti, F. (2007a). The improvement of *Metarhizium anisopliae* to enhance its pathogenicity. In: *Proceeding of PIPOC 2007 International Oil Palm Congress*, at Kuala Lumpur, Malaysia.

- Susanto, A., Dongoran, A. P., Yanti, F., Lubis, A. F., & Prasetyo, A. E. (2006). The role of *Metarhizium anisopliae* on reducing of *Oryctes rhinoceros* larvae in empty fruit bunch of oil palm mulch. In: *Proceeding of the International Oil Palm Conference 2006, 19-23 June*, at Nusa Dua, Bali.
- Susanto, A., Prasetyo, A. E., Prawirosukarto, S., Priwiratama, H., & Rozziashsha, T. A. P. (2012a). *Pengendalian Terpadu Oryctes rhinoceros di Perkebunan Kelapa Sawit*. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Susanto, A., Prasetyo, A. E., Simanjuntak, D., Rozziashsha, T. A. P., Priwiratama, H., Sudharto, P., De-Chenon, R. D. et al. (2012b). *EWS: Ulat Api, Ulat Kantung, Ulat Bulu*. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Susanto, A., Sudharto, P., & Yanti, F., (2005). *Konservasi dan Perbanyakan Musuh alami, Hama, Penyakit dan Gulma Kelapa Sawit*: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Susanto, A., Utomo, C., Herawan, T., & Dongoran, A. P. (2007b). Peranan feromon agregat sintetik dalam pengurangan populasi kumbang *Oryctes rhinoceros* pada perkebunan kelapa sawit. In: *Proceeding of Seminar Perhimpunan Entomologi Indonesia, 27 Januari*, at Bandung.
- Susanto, A., Utomo, C., Herawan, T., & Sitohang, M. (2012c). Pheromonal ability of octanoate acid in trapping *Oryctes rhinoceros* in oil palm plantation. In: *Proceeding of the International Oil Palm Conference 2010, 1-3 June 2010*, at Yogyakarta.
- Susanto, A., Widayati, W. E., Priwiratama, H., Rozziashsha, T. A. P., Simanjuntak, D., & Prasetyo, A. E. (2013). Konsorsium entomopatogen untuk mengendalikan hama di perkebunan kelapa sawit. In: *Proceeding of Pertemuan Teknis Kelapa Sawit, 7-9 Mei*, at Jakarta.
- Suzanti, F., Kuswardani, R. A., Rahayu, S., & Susanto, A. (2016). Diversity of Vascular and Insects Canopy Epiphytes on Palm Oil in North Sumatra, Indonesia. *American Journal of Environmental Protection*, 5(3), 39-49.
- Syed, R. A., & Saleh, H. A. (1998). Integrated pest management of bagworms in oil palm plantation of PT. PP. London Sumatra Indonesia TBK (With particular reference to *Mahasena corbettii* Tams) in North Sumatra. In: *Proceeding of The International Oil Palm Conference 1998, 23-25 September*, at Nusa Dua, Bali.
- Tajuddin, N. S. A., Ali, S. R. A., Bakeri, S. A., & Kamaruzzaman, K. E. (2010). Effect of *Beauveria brongniartii* and *B. bassiana* on oil palm bagworm, *Pteroma pendula* (Joannis). *Journal of Oil Palm Research*, 22, 729-735.
- Tobing, M. C., Bakti, D., Susanto, A., & Saragih, H. (2007). The use of pheromone trap and net to monitor and control of *Oryctes rhinoceros* (Coleoptera: Scarabaeidae) on oil palm. In: *Proceeding of Kongres VII dan Seminar Nasional Perhimpunan Entomologi Indonesia (PEI), 25-27 Juli*, at Bali, Indonesia.
- Tulloch, M. (1979). The genus of *Metarhizium*. *Transactions of the British Mycological Society* 66, 407-411.
- Utomo, C., Herawan, T., & Susanto, A. (2006). Mass trapping of *Oryctes rhinoceros* in oil palm by using synthetic pheromone. In: *Proceeding of the International Oil Palm Conference 2006, 21-23 Juni*, at Nusa Dusa, Bali.
- Wibowo, H., Sipayung, A., & De Chenon, R.D. (1994). Teknik perbanyakan cendawan *Cordyceps* sp. untuk pengendalian *Setothosea asigna* Moore (Lepidoptera : Limacodidae). *Buletin PPKS*, 2, 147-154.
- Witjaksono, W., Wijonarko, A., Harjaka, T., Harahap, I., & Sampurno, W. B. (2015). Tekanan *Metarhizium anisopliae* dan feromon terhadap populasi dan tingkat kerusakan oleh *Oryctes rhinoceros*. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 19(2), 73-79.

- Wood, B. J. (1968). *Pests of Oil Palms in Malaysia and their Control*. Kuala Lumpur, Malaysia: Incorporated Society of Planters.
- Wood, B. J. (2002). Pest Control in Malaysia's Perennial Crops: A Half-Century Perspective Tracking the Pathway to Integrated Pest Management. *Integrated Pest Management Reviews*, 7(3), 173.
- Wood, B. J., Corley, R. H. V., & Goh, K. H. (1973). Studies on the effect of pest damage on oil palm yield. In: *Advanced in Oil Palm Cultivation*. In R L Wastrie and D A Earp, 360-279. The Incorporated Society of Planters.
- Yii, J. E., Bong, C. F. J., King, J. H. P., & Kadir, J. (2015). Synergism of entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae* incorporated with fipronil against oil palm pest subterranean termite, *Coptotermes curvignathus*. *Plant Protection Science*, 52(1), 35-44.
- Young, E. C., & Longworth, J. P. (1981). The epizootiology of the baculovirus of the coconut palm rhinoceros beetle (*Oryctes rhinoceros*) in Tonga. *Journal of Invertebrate Pathology*, 38(3), 362-369.
- Zelazny, B., & Alfiler, A. R. (1991). Ecology of baculovirus-infected and healthy adults of *Oryctes rhinoceros* (Coleoptera: Scarabaeidae) on coconut palms in the Philippines. *Ecological Entomology*, 16(2), 253-259.
- Zelazny, B., Lolong, A., & Pattang, B. (1992). *Oryctes rhinoceros* (Coleoptera: Scarabaeidae) populations suppressed by a baculovirus. *Journal of Invertebrate Pathology*, 59(1), 61-68.