



Aktivitas insektisida ekstrak buah *Piper aduncum* L. (Piperaceae) dan *Sapindus rarak* DC. (Sapindaceae) serta campurannya terhadap larva *Crocidolomia pavonana* (F.) (Lepidoptera: Crambidae)

Insecticidal activity of mixtures of *Piper aduncum* L. (Piperaceae) and *Sapindus rarak* DC. (Sapindaceae) fruit extracts against *Crocidolomia pavonana* (F.) (Lepidoptera: Crambidae) Larvae

Yan Yanuar Syahroni, Djoko Prijono*

Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jalan Kamper, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

(diterima Januari 2013, disetujui Februari 2013)

ABSTRAK

Crocidolomia pavonana merupakan hama penting pada tanaman sayuran Brassicaceae. Insektisida nabati merupakan salah satu alternatif potensial untuk mengendalikan hama tersebut. Penelitian ini bertujuan menentukan tingkat toksisitas ekstrak etil asetat buah *Piper aduncum* (EtPa), ekstrak metanol buah *Sapindus rarak* (MeSr), ekstrak air buah *S. rarak* (AqSr), serta campuran ekstrak EtPa + MeSr dan ekstrak EtPa + AqSr terhadap larva *C. pavonana*. Setiap ekstrak diuji terhadap larva instar II *C. pavonana* dengan metode celup daun. Pada taraf LC₉₅ - 72 jam setelah perlakuan (JSP), ekstrak EtPa lebih beracun terhadap larva *C. pavonana* daripada ekstrak MeSr dan AqSr, masing-masing sebesar 14,5 dan 12,8 kali. Pada taraf LC₉₅, campuran ekstrak EtPa + MeSr (1 : 10, w/w) sekitar 1,64 kali lebih beracun terhadap larva *C. pavonana* daripada campuran ekstrak EtPa + AqSr (1 : 10, w/w). Berdasarkan indeks kombinasi pada pengamatan 48, 72, dan 96 JSP, campuran ekstrak EtPa + MeSr pada taraf LC₅₀ serta campuran ekstrak EtPa + AqSr pada taraf LC₅₀ dan LC₉₅ bersifat aditif, sedangkan campuran ekstrak EtPa + MeSr pada taraf LC₉₅ bersifat sinergistik lemah. Selain mengakibatkan kematian, perlakuan dengan semua ekstrak uji juga menghambat perkembangan larva *C. pavonana* dari instar II ke instar IV. Dengan demikian, ekstrak EtPa, MeSr, AqSr, serta campuran ekstrak EtPa dan *S. rarak* berpotensi untuk digunakan sebagai salah satu alternatif dalam pengendalian hama *C. pavonana*.

Kata kunci: insektisida nabati, hama kubis, aktivitas campuran, sinergis, hambatan perkembangan

ABSTRACT

Crocidolomia pavonana is an important pest of Brassicaceous vegetable crops. Botanical insecticides are potential alternatives for the control of *C. pavonana* pest. Insecticidal activity of *Piper aduncum* and *Sapindus rarak* fruit extracts as well as their mixtures was evaluated against *C. pavonana* larvae in the laboratory. Ethyl acetate *P. aduncum* (EtPa) extract as well as methanolic *S. rarak* (MeSr) and aqueous *S. rarak* (AqSr) extracts were tested separately and in mixtures against second-instar larvae *C. pavonana* by a leaf-residue feeding method. At the LC₉₅ level - 72 hours after treatment (HAT), EtPa extract was about 14.5 and 12.8 times, respectively, more toxic to

*Penulis korespondensi: Djoko Prijono. Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Jalan Kamper, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
Tel: +62-251-8629364, Email: djokopr@ipb.ac.id

C. pavonana larvae than MeSr and AqSr extracts. At the LC₉₅ level, EtPa + MeSr extract mixture (1 : 10 w/w) was about 1.64 times more toxic to the test larvae than EtPa + AqSr extract mixture (1 : 10 w/w). Based on combination index at 48, 72, and 96 HAT, EtPa + MeSr extract mixture at LC₅₀ level as well as EtPa + AqSr extract mixture at LC₅₀ and LC₉₅ levels had additive joint action, whereas EtPa + MeSr extract mixture at LC₉₅ was weakly synergistic. In addition to lethal effect, the treatment with all test materials delayed the development of *C. pavonana* larvae from second-instar to fourth instar. Thus, EtPa, MeSr, and AqSr extracts as well as the mixtures between EtPa and *S. rarak* extracts are potential alternatives for the control of *C. pavonana* pest.

Key words: botanical insecticides, cabbage pest, joint action, synergism, developmental delay

PENDAHULUAN

Crociodolomia pavonana (F.) (Lepidoptera: Crambidae) merupakan hama penting pada tanaman famili Brassicaceae, seperti brokoli, kubis, lobak, dan sawi. Serangan hama tersebut pada tanaman kubis dapat menurunkan hasil sampai 65,8% bahkan pada musim kemarau kehilangan hasil dapat mencapai 100% (Sudarwohadi 1975; Uhan & Sulastrini 1993). Tindakan pengendalian hama *C. pavonana* yang umum dilakukan petani adalah dengan menggunakan insektisida sintetis (Sastrosiswojo & Setiawati 1992). Tindakan pengendalian tersebut merupakan cara yang praktis, efektif, dan efisien dari segi waktu dan ekonomi, serta mudah diterapkan pada areal yang luas (Djojoseumarto 2008). Namun, penggunaan insektisida sintetis secara terus menerus dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, seperti terjadinya resistensi dan resurgensi hama, ledakan hama sekunder, terbunuhnya organisme bukan sasaran, dan terdapatnya residu insektisida pada produk pertanian (Metcalf 1982; Perry et al. 1998).

Salah satu cara pengendalian hama yang ramah lingkungan ialah menggunakan insektisida nabati. Insektisida golongan tersebut memiliki beberapa kelebihan, seperti mudah terurai di alam, relatif aman terhadap organisme bukan sasaran, komponen ekstrak dapat bersifat sinergis, resistensi hama tidak cepat terjadi, dapat dipadukan dengan komponen pengendalian hama terpadu lainnya, dan beberapa insektisida nabati dapat disiapkan di tingkat petani (Prakash & Rao 1997; Dadang & Prijono 2008).

Salah satu jenis tumbuhan yang berpotensi digunakan sebagai sumber insektisida nabati ialah sirih hutan, *Piper aduncum* L. (Piperaceae). Bernard et al. (1995) melaporkan bahwa perlakuan

dengan ekstrak etanol daun sirih hutan pada konsentrasi 0,4% (w/w) dalam pakan buatan dapat mematikan larva penggerek batang jagung *Ostrinia nubilalis* sampai 100%. Pada penelitian lain, ekstrak *n*-heksana (Hasyim 2011) dan ekstrak etil asetat (Nailufar 2011) buah sirih hutan dilaporkan memiliki aktivitas insektisida yang kuat terhadap larva *C. pavonana* dengan LC₉₅ masing-masing 0,26% dan 0,32%, tetapi nilai tersebut tidak berbeda nyata (selang kepercayaan 95% tumpang-tindih).

Bernard et al. (1995) melaporkan bahwa dilapiol merupakan senyawa aktif utama yang bersifat insektisida dari ekstrak etanol daun sirih hutan. Perlakuan dilapiol pada konsentrasi 0,1 ppm menyebabkan mortalitas larva nyamuk *Aedes atropalpus* sebesar 92%. Hasyim (2011) melaporkan bahwa fraksi aktif dari ekstrak *n*-heksana buah sirih hutan, dengan hasil fraksi 66,6% dan LC₉₅ terhadap larva *C. pavonana* 769 ppm, juga mengandung dilapiol sebagai komponen utama (kelimpahan 68,8%). Selain bersifat insektisida, dilapiol juga bersifat sinergis dengan cara kerja menghambat aktivitas enzim polisubstrat monooksigenase (PSMO) yang berfungsi menurunkan daya racun senyawa asing yang terdapat di dalam tubuh serangga melalui proses oksidasi (Bernard et al. 1989; Scott et al. 2008).

Bahan tumbuhan lain yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber insektisida nabati ialah buah lerak, *Sapindus rarak* DC. (Sapindaceae) (Heyne 1987; Widowati 2003). Kandungan senyawa yang terdapat dalam daging buah lerak di antaranya triterpena, alkaloid, steroid, antrakuinon, tanin, flavonoid, dan saponin. Ekstrak *n*-heksana buah lerak mengandung saponin sekitar 48,9% (Sunaryadi 1999). Saponin mempunyai sifat

khas, seperti berasa pahit, membentuk busa stabil dalam air, bersifat racun terhadap hewan berdarah dingin, seperti ikan, siput, dan serangga (Tekeli et al. 2007). Saponin terdapat pada semua bagian tanaman *Sapindus* dengan kandungan tertinggi terdapat pada bagian buah (Widowati 2003).

Insektisida nabati dapat digunakan dalam bentuk tunggal atau campuran. Penggunaan insektisida nabati dalam bentuk campuran yang bersifat sinergis dapat mengefisienkan penggunaan bahan tumbuhan dan mengurangi ketergantungan pada satu jenis tumbuhan (Dadang & Prijono 2008). Ekstrak *Piper* spp. yang mengandung senyawa yang memiliki gugus metilendioksifenil (MDP) dapat bersifat sinergis bila dicampurkan dengan ekstrak tumbuhan lain (Scott et al. 2008). Sebagai contoh campuran ekstrak daun *Tephrosia vogelii* dan ekstrak buah *Piper cubeba* (5 : 9) (Abizar & Prijono 2008) serta campuran ekstrak daun *T. vogelii* dan buah sirih hutan (1 : 1, 5 : 1, dan 1 : 5) bersifat sinergistik kuat terhadap larva *C. pavonana* (Nailufar 2011). Kubebin dalam buah *P. cubeba* dan dilapiol dalam buah sirih hutan memiliki gugus MDP yang merupakan ciri sinergis dengan cara kerja menghambat aktivitas enzim PSMO (Bernard et al. 1989, 1995). Pencampuran ekstrak buah sirih hutan dengan ekstrak buah lerak diharapkan bersifat sinergis.

Penelitian ini bertujuan menentukan tingkat toksisitas dan efek penghambatan perkembangan ekstrak etil asetat buah sirih hutan, ekstrak metanol dan ekstrak air buah lerak, serta campuran ekstrak buah sirih hutan dan lerak terhadap larva *C. pavonana*.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fisiologi dan Toksikologi Serangga, Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB), dari Januari sampai September 2012.

Bahan tumbuhan sumber ekstrak

Bahan tumbuhan yang digunakan sebagai sumber ekstrak adalah buah sirih hutan yang diperoleh dari lingkungan kampus Institut Pertanian Bogor dan buah lerak yang diperoleh dari Pasar Anyar, Bogor.

Perbanyak tanaman pakan

Daun brokoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck cv. Green Magic) digunakan sebagai pakan serangga uji dan sebagai medium perlakuan pada uji hayati. Perbanyak tanaman brokoli tanpa perlakuan pestisida dilakukan dengan cara seperti yang telah diuraikan oleh Abizar dan Prijono (2010). Pembibitan dilakukan pada nampan semai 50-lubang yang diisi media semai berupa campuran tanah dan pupuk organik. Bibit yang telah memiliki sekurang-kurangnya empat helai daun dipindahkan ke *polybag* kapasitas 5 l yang diisi campuran tanah dan pupuk kandang (3 : 1 v/v). Daun dari tanaman brokoli yang telah berumur 2 bulan digunakan sebagai pakan larva *C. pavonana*.

Perbanyak serangga uji

Serangga *C. pavonana* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan koloni yang diperbanyak di Laboratorium Fisiologi dan Toksikologi Serangga, Departemen Proteksi Tanaman, IPB. Pada dasarnya pembiakan serangga dilakukan mengikuti prosedur yang digunakan oleh Prijono dan Hassan (1992). Larva *C. pavonana* diberi pakan daun brokoli bebas pestisida dan imagonya diberi pakan larutan madu 10% yang diserapkan pada segumpal kapas yang digantungkan di dalam kurungan plastik-kasa berbingkai kayu (50 cm x 50 cm x 50 cm).

Tangkai daun brokoli dicelupkan dalam tabung film berisi air dan diletakkan di dalam kurungan sebagai tempat peletakan telur. Kelompok telur pada daun brokoli dikumpulkan setiap hari. Setelah telur menetas, larva dipindahkan ke dalam wadah plastik (35 cm x 26 cm x 6 cm) berjendela kasa dan diberi pakan daun brokoli bebas pestisida. Larva instar II digunakan untuk pengujian. Bila tidak digunakan untuk pengujian, sebagian larva dipelihara lebih lanjut dalam wadah plastik seperti di atas.

Ekstraksi bahan tumbuhan sumber ekstrak

Buah sirih hutan dikeringanginkan selama 1 minggu kemudian digiling menggunakan blender hingga menjadi serbuk. Serbuk buah sirih hutan diayak menggunakan pengayak kawat kasa berjalanan 0,5 mm. Serbuk buah sirih hutan sebanyak 200 g direndam dalam 1600 ml etil

asetat. Perendaman dilakukan sebanyak tiga kali (Nailufar 2011). Buah lerak dipisahkan antara daging (perikarp) dan kulitnya menggunakan gunting. Daging buah lerak sebanyak 50 g direndam dalam 1000 ml metanol. Perendaman dilakukan sebanyak dua kali.

Hasil rendaman disaring dengan corong kaca beralaskan kertas saring Whatman No. 41. Hasil saringan diuapkan tuntas dengan menggunakan *rotary evaporator* pada suhu 50 °C dengan tekanan 240 mbar untuk pelarut etil asetat dan 337 mbar untuk pelarut metanol. Etil asetat dan metanol hasil penguapan yang diperoleh digunakan kembali untuk membilas residu pada perendaman dan kertas saring di corong kaca. Ekstrak pekat yang diperoleh disimpan di dalam lemari es (suhu ± 4 °C) hingga digunakan untuk pengujian.

Buah lerak juga diekstrak dengan menggunakan pelarut air. Cara ekstraksi ini diharapkan dapat diterapkan langsung dengan peralatan sederhana di tingkat petani. Irisan daging buah lerak yang sudah ditimbang dan dicampur dengan air sesuai konsentrasi pengujian dihaluskan menggunakan blender. Hasil ekstrak kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik dan disimpan di dalam lemari es (± 4 °C) selama 24 jam untuk menghilangkan busanya. Sebelum digunakan untuk pengujian, hasil ekstrak disaring terlebih dahulu dengan pengayak kawat kasa berjalanan 0,5 mm.

Metode pengujian

Uji toksisitas ekstrak tunggal. Pengujian dilakukan dengan metode celup daun (Abizar & Prijono 2010). Setiap ekstrak diuji pada enam taraf konsentrasi yang diharapkan dapat mengakibatkan kematian serangga uji antara 15% dan 95%, yang ditentukan berdasarkan uji pendahuluan. Taraf konsentrasi uji ekstrak etil asetat sirih hutan (EtPa) ialah 0,05%, 0,085%, 0,12%, 0,155%, 0,190%, dan 0,225% (w/v); konsentrasi uji ekstrak metanol lerak (MeSr) ialah 0,75%, 1,2%, 1,65%, 2,1%, 2,55%, dan 3% (w/v); dan konsentrasi uji ekstrak air lerak (AqSr) ialah 0,8%, 1,4%, 2,0%, 2,6%, 3,2%, dan 3,8% (w/v). Pada setiap pengujian disertakan kontrol yang sesuai. Setiap perlakuan dan kontrol diulang enam kali. Sediaan ekstrak

EtPa disiapkan dengan mencampurkan ekstrak tersebut dengan pelarut metanol dan pengemulsi Tween 80 (konsentrasi akhir masing-masing 1% dan 0,2%) lalu ditambah akuades hingga volume tertentu sesuai dengan konsentrasi pengujian. Dalam pembuatan sediaan ekstrak MeSr hanya ditambahkan pelarut metanol (konsentrasi akhir 1%). Akuades yang mengandung pelarut metanol (1%) dan pengemulsi Tween 80 (0,2%) digunakan sebagai larutan kontrol untuk ekstrak EtPa; akuades yang hanya mengandung metanol (1%) sebagai larutan kontrol untuk ekstrak MeSr; dan akuades saja sebagai kontrol untuk ekstrak AqSr.

Potongan daun brokoli segar dan bebas pestisida (4 cm x 4 cm) dicelup satu per satu dalam suspensi ekstrak dengan konsentrasi tertentu sampai basah merata lalu dikeringudarkan. Daun kontrol dicelup dalam larutan kontrol yang sesuai. Sebanyak 15 larva instar II *C. pavonana* yang baru ganti kulit diletakkan pada tutup cawan petri yang dialasi tisu, lalu satu potong daun perlakuan atau daun kontrol segera diletakkan di atas larva tersebut dan bagian dasar cawan petri (diameter 9 cm) diletakkan di atas bagian tutup cawan petri yang telah berisi larva dan daun perlakuan atau daun kontrol.

Setelah 24 jam, daun pakan perlakuan dan kontrol ditambahkan ke dalam setiap cawan petri pengujian dan pada 24 jam berikutnya daun perlakuan diganti dengan daun tanpa perlakuan. Data kematian larva dicatat setiap hari sampai hari ke-4 (96 jam setelah perlakuan [JSP]). Data kematian kumulatif serangga uji pada 48, 72, dan 96 JSP diolah dengan analisis probit menggunakan program POLO-PC (LeOra Software 1987).

Uji toksisitas ekstrak campuran. Ekstrak EtPa diuji dalam bentuk campuran dengan ekstrak MeSr dan AqSr, masing-masing dengan perbandingan 1:10 (w/w), pada enam taraf konsentrasi yang diharapkan dapat mengakibatkan kematian serangga uji antara 15% dan 95%. Taraf konsentrasi uji campuran ekstrak EtPa + MeSr ialah 0,55%, 0,66%, 0,77%, 0,88%, 0,99%, dan 1,1% ditambah kontrol. Taraf konsentrasi uji campuran ekstrak EtPa + AqSr ialah 0,715%, 0,902%, 1,089%, 1,27%, 1,463%, dan 1,650% ditambah kontrol. Cara perlakuan dan pengamatan sama seperti

pada uji ekstrak tunggal. Data kematian kumulatif serangga uji pada 48, 72, dan 96 JSP diolah dengan analisis probit, seperti pada uji ekstrak tunggal.

Sifat aktivitas campuran ekstrak sirih hutan dan lerak dianalisis berdasarkan model kerja bersama berbeda dengan menghitung indeks kombinasi pada taraf LC_{50} dan LC_{95} . Indeks kombinasi (IK) pada taraf LC_x tersebut dihitung dengan rumus berikut (Chou & Talalay 1984; Martin et al. 2003):

$$IK = \frac{LC_x^{1(cm)}}{LC_x^1} + \frac{LC_x^{2(cm)}}{LC_x^2} + \left[\frac{LC_x^{1(cm)}}{LC_x^1} \times \frac{LC_x^{2(cm)}}{LC_x^2} \right]$$

LC_x^1 dan LC_x^2 masing-masing merupakan LC_x ekstrak sirih hutan dan ekstrak lerak pada pengujian terpisah; $LC_x^{1(cm)}$ dan $LC_x^{2(cm)}$ masing-masing LC ekstrak sirih hutan dan lerak dalam campuran yang mengakibatkan mortalitas x (misal 50% dan 95%). Nilai LC tersebut diperoleh dengan cara mengalikan LC_x campuran dengan proporsi konsentrasi ekstrak sirih hutan dan lerak dalam campuran.

Kategori sifat interaksi campuran adalah sebagai berikut (diadaptasi dari Gisi 1996; Kosman & Cohen 1996 sebagai kebalikan dari nisbah ko-toksisitas): 1: bila $IK < 0,5$, komponen campuran bersifat sinergistik kuat; 2: bila $0,5 \leq IK \leq 0,77$, komponen campuran bersifat sinergistik lemah; 3: bila $0,77 < IK \leq 1,43$, komponen campuran bersifat aditif; 4: bila $IK > 1,43$, komponen campuran bersifat antagonistik.

HASIL

Toksitas ekstrak sirih hutan dan lerak terhadap larva *C. pavonana*

Ekstrak tunggal. Secara umum, mortalitas serangga uji akibat perlakuan dengan ketiga ekstrak tunggal makin meningkat dengan makin besarnya konsentrasi. Pada 24 JSP, perlakuan dengan ekstrak EtPa dan ekstrak MeSr pada konsentrasi tertinggi (masing-masing 0,225% dan 3%) mengakibatkan mortalitas larva *C. pavonana* masing-masing sekitar 73% dan 48%, sedangkan ekstrak AqSr bekerja relatif lambat; pada konsentrasi tertinggi (3,8%) kematian larva *C. pavonana* hanya sekitar 13%. Sementara itu, perlakuan dengan ekstrak EtPa 0,050-0,190%, ekstrak MeSr 0,75-2,55%,

dan ekstrak AqSr 0,80-3,20% mengakibatkan mortalitas serangga uji berturut-turut 1-23%, 14-42%, dan 1-11% (Gambar 1).

Tingkat mortalitas serangga uji pada perlakuan dengan ketiga jenis ekstrak meningkat tajam antara 24 dan 48 JSP. Pada perlakuan dengan ekstrak EtPa 0,225% dan MeSr 3%, kematian larva *C. pavonana* mencapai 100%, sedangkan pada perlakuan dengan ekstrak AqSr 3,8% kematian larva sekitar 86%. Sementara itu, perlakuan dengan ekstrak EtPa 0,050-0,190%, ekstrak MeSr 0,75-2,55%, dan ekstrak AqSr 0,80-3,20% mengakibatkan mortalitas serangga uji berturut-turut 3-50%, 30-96%, dan 1-84% (Gambar 1).

Antara 48 dan 72 JSP pada perlakuan dengan ketiga jenis ekstrak masih terjadi peningkatan kematian serangga uji meskipun daun perlakuan sudah diganti dengan daun tanpa perlakuan. Pada perlakuan dengan ekstrak EtPa 0,190%, peningkatan mortalitas serangga uji cukup besar, sedangkan pada perlakuan dengan ekstrak MeSr dan AqSr peningkatan mortalitas serangga uji relatif rendah. Terjadinya kematian serangga uji setelah daun perlakuan diganti dengan daun tanpa perlakuan kemungkinan disebabkan oleh masih terdapatnya senyawa aktif sirih hutan dan lerak di dalam tubuh serangga uji (Gambar 1).

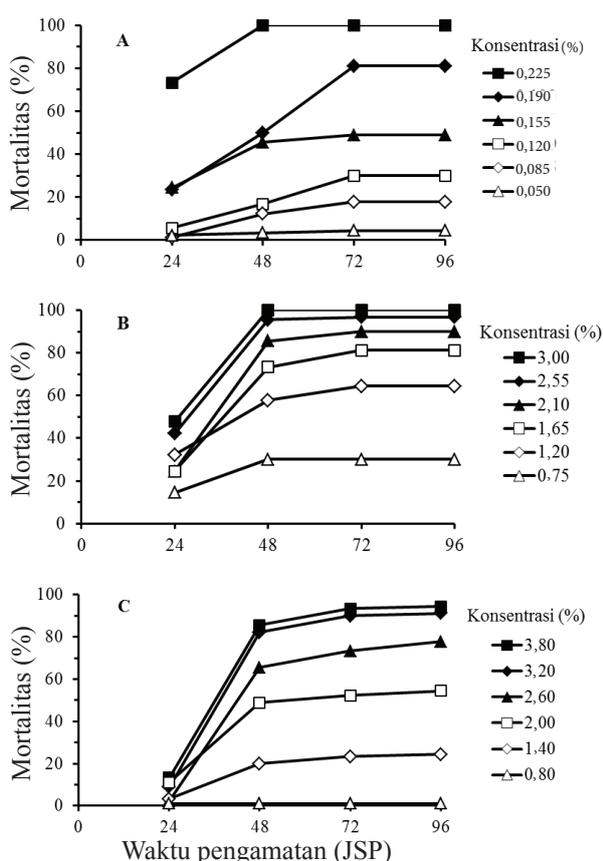
Setelah 72 JSP, pada perlakuan dengan ekstrak EtPa dan MeSr tidak terjadi lagi peningkatan mortalitas serangga uji, sedangkan pada perlakuan dengan ekstrak AqSr masih terjadi peningkatan mortalitas serangga uji, tetapi sangat rendah (Gambar 1). Pada akhir pengamatan (96 JSP), mortalitas larva *C. pavonana* akibat perlakuan dengan ekstrak EtPa 0,050-0,225% dan ekstrak MeSr 0,75-3% masing-masing berkisar dari 4% sampai 100% dan 30% sampai 100%, sedangkan pada perlakuan dengan ekstrak AqSr 0,80-3,80% mortalitas serangga uji berkisar dari 1% sampai 94%.

Pada 48 JSP mortalitas larva *C. pavonana* akibat perlakuan dengan ekstrak sirih hutan dan lerak telah melebihi 50%, karena itu analisis probit dilakukan terhadap data mortalitas pada pengamatan 48, 72, dan 96 JSP. LC_{50} dan LC_{95} ekstrak EtPa, MeSr, dan AqSr pada 72 JSP lebih kecil daripada LC_{50} dan LC_{95} masing-masing pada 48 JSP (Tabel 1). Hal ini sesuai dengan terjadinya peningkatan mortalitas yang cukup tajam antara

48 dan 72 JSP, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Ekstrak campuran. Seperti pada perlakuan dengan ekstrak tunggal, perlakuan dengan ekstrak campuran juga mengakibatkan mortalitas larva *C. pavonana* yang meningkat seiring dengan makin tingginya konsentrasi ekstrak. Pada 24 JSP, perlakuan dengan campuran ekstrak EtPa + MeSr dan EtPa + AqSr pada konsentrasi tertinggi (1,10% dan 1,65%) mengakibatkan kematian larva *C. pavonana* masing-masing sekitar 13% dan 48%. Sementara itu, perlakuan dengan campuran ekstrak EtPa + MeSr 0,55-0,99% dan EtPa + AqSr 0,715-1,463% mengakibatkan mortalitas serangga uji masing-masing sekitar 7-9% dan 7-10% (Gambar 2).

Tingkat mortalitas serangga uji meningkat tajam antara 24 dan 48 JSP. Perlakuan dengan



Gambar 1. Perkembangan tingkat mortalitas larva *Crocidolomia pavonana* pada perlakuan: A: ekstrak etil asetat buah sirih hutan; B: ekstrak metanol buah lerak; dan C: ekstrak air buah lerak.

campuran ekstrak EtPa + MeSr dan EtPa + AqSr pada konsentrasi tertinggi (masing-masing 1,10% dan 1,65%) mengakibatkan kematian larva *C. pavonana* hingga 100%, sedangkan perlakuan dengan campuran ekstrak EtPa + MeSr 0,55-0,99% dan EtPa + AqSr 0,715-1,463% mengakibatkan kematian larva uji masing-masing berkisar dari 23% sampai 97% dan 22% sampai 86%. Antara 48 dan 72 JSP pada perlakuan dengan kedua campuran ekstrak masih terjadi peningkatan mortalitas serangga uji, tetapi dalam jumlah rendah. Setelah 72 JSP, pada perlakuan campuran ekstrak EtPa + AqSr tidak terjadi lagi peningkatan mortalitas larva uji, sedangkan pada perlakuan campuran ekstrak EtPa + MeSr masih terjadi peningkatan mortalitas serangga uji, tetapi dalam jumlah rendah. Pada akhir pengamatan (96 JSP), mortalitas larva *C. pavonana* akibat perlakuan dengan campuran ekstrak EtPa + MeSr dan EtPa + AqSr masing-masing berkisar dari 29% sampai 100% dan 24% sampai 100% (Gambar 2).

Berdasarkan hasil analisis probit terhadap data mortalitas pada 48, 72, dan 96 JSP, LC_{50} campuran ekstrak EtPa + MeSr makin kecil seiring dengan meningkatnya waktu pengamatan, sedangkan LC_{95} campuran ekstrak EtPa + MeSr makin kecil antara 48 dan 72 JSP sementara pada 96 JSP setara dengan LC_{95} pada 72 JSP (Tabel 1). Hal ini sesuai dengan terjadinya peningkatan mortalitas antara 48 dan 96 JSP sementara pada perlakuan campuran ekstrak EtPa + MeSr dua taraf konsentrasi tertinggi (0,99% dan 1,10%) sudah tidak terjadi peningkatan mortalitas larva uji pada 96 JSP. LC_{50} dan LC_{95} campuran ekstrak EtPa + AqSr pada 72 JSP lebih rendah dibandingkan dengan pada 48 JSP, tetapi LC_{50} dan LC_{95} pada 96 JSP tidak berbeda dengan pada 72 JSP (Tabel 1). Hal ini sesuai dengan terjadinya peningkatan mortalitas yang cukup tajam antara 48 dan 72 JSP yang selanjutnya mortalitas serangga uji tidak meningkat lagi setelah 72 JSP (Gambar 2).

Sifat aktivitas campuran ekstrak sirih hutan dan lerak terhadap larva *C. pavonana*

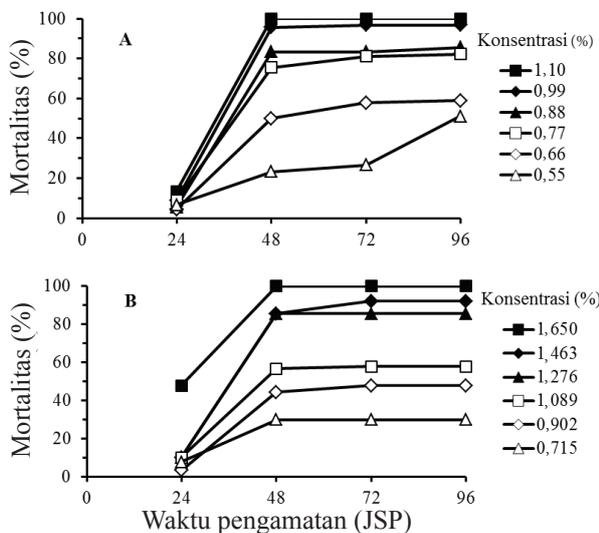
Berdasarkan indeks kombinasi (IK) pada pengamatan 48, 72, dan 96 JSP, campuran ekstrak EtPa + MeSr pada taraf LC_{50} dan campuran ekstrak EtPa + AqSr pada taraf LC_{50} dan LC_{95}

Tabel 1. Penduga parameter hubungan konsentrasi-mortalitas ekstrak etil asetat sirih hutan dan ekstrak buah lerak terhadap larva instar II *Crocidolomia pavonana*

Jenis ekstrak	Waktu pengamatan (JSP) ^a	a ± GB ^b	b ± GB ^b	LC ₅₀ (SK 95%) (%) ^b	LC ₉₅ (SK 95%) (%) ^b
Ekstrak etil asetat sirih hutan (EtPa)	48	4,098 ± 0,359	5,089 ± 0,425	0,157 (-)	0,330 (-)
	72	4,238 ± 0,340	4,928 ± 0,389	0,138 (0,104-0,183)	0,298 (0,211-0,990)
	96	4,238 ± 0,340	4,928 ± 0,389	0,138 (0,104-0,183)	0,298 (0,212-0,1991)
Ekstrak metanol lerak (MeSr)	48	-0,111 ± 0,862	4,124 ± 0,351	1,064 (0,878-1,220)	2,666 (2,220-3,604)
	72	-0,247 ± 0,867	4,423 ± 0,376	1,001 (0,907-1,086)	2,358 (2,125-2,700)
	96	-0,247 ± 0,867	5,840 ± 0,542	1,001 (0,907-1,086)	2,358 (2,125-2,700)
Ekstrak air lerak (AqSr)	48	-1,556 ± 0,148	4,813 ± 0,375	2,106 (1,975-2,237)	4,623 (4,143-5,343)
	72	-1,567 ± 0,153	5,627 ± 0,415	1,898 (1,786-2,007)	3,721 (3,409-4,159)
	96	-1,567 ± 0,153	5,627 ± 0,415	1,898 (1,786-2,007)	3,721 (3,409-4,159)
EtPa + MeSr (1 : 10)	48	1,751 ± 0,128	9,689 ± 0,782	0,660 (0,621-0,693)	0,975 (0,908-1,084)
	72	1,836 ± 0,134	9,387 ± 0,794	0,637 (0,578-0,682)	0,954 (0,870-1,123)
	96	1,844 ± 0,134	9,166 ± 0,790	0,629 (0,582-0,666)	0,951 (0,880-1,074)
EtPa + AqSr (1 : 10)	48	0,149 ± 0,654	7,017 ± 0,569	0,952 (0,828-1,052)	1,633 (1,407-2,212)
	72	0,234 ± 0,659	7,300 ± 0,590	0,929 (0,821-1,017)	1,560 (1,368-2,000)
	96	0,234 ± 0,659	7,300 ± 0,590	0,929 (0,821-1,017)	1,560 (1,368-2,000)

^aJSP: jam setelah perlakuan

^ba: intersep garis regresi probit; b: kemiringan garis regresi probit; GB: galat baku; SK: selang kepercayaan



Gambar 2. Perkembangan tingkat mortalitas larva *Crocidolomia pavonana* pada perlakuan: A: campuran ekstrak etil asetat buah sirih hutan + ekstrak metanol buah lerak; dan B: campuran ekstrak etil asetat buah sirih hutan + ekstrak air buah lerak.

bersifat aditif. Sementara itu, campuran ekstrak EtPa + MeSr pada taraf LC₉₅ bersifat sinergistik lemah (Tabel 2). Sifat aditif menunjukkan bahwa tingkat mortalitas serangga uji akibat perlakuan ekstrak campuran tidak berbeda dengan jumlah

tingkat mortalitas akibat perlakuan kedua ekstrak tunggal secara terpisah, sementara sifat sinergistik lemah menunjukkan bahwa perlakuan dengan campuran ekstrak tersebut mengakibatkan tingkat mortalitas larva *C. pavonana* yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah tingkat mortalitas akibat perlakuan kedua ekstrak tunggal secara terpisah (Kosman & Cohen 1996).

Hambatan perkembangan larva *C. pavonana*

Selain mengakibatkan kematian larva *C. pavonana*, perlakuan dengan ekstrak buah sirih hutan dan buah lerak serta campurannya juga dapat menghambat perkembangan larva *C. pavonana*. Perlakuan dengan ekstrak MeSr serta campuran ekstrak EtPa + MeSr dan EtPa + AqSr pada semua taraf konsentrasi menghambat larva *C. pavonana* menjadi instar IV sebesar 100% pada 96 JSP (larva yang masih hidup masih instar II dan III). Pada perlakuan dengan ekstrak EtPa 0,05-0,225%, penghambatan perkembangan larva *C. pavonana* menjadi instar IV berkisar dari sekitar 63% hingga 100% dan pada perlakuan ekstrak AqSr 0,80-3,80% penghambatan perkembangan berkisar dari sekitar 72% hingga 100% (Tabel 3).

Tabel 2. Sifat aktivitas campuran ekstrak etil asetat buah sirih hutan dan ekstrak buah lerak (1 : 10, w/w) terhadap larva instar II *Crocidolomia pavonana*

Perlakuan ^a	Waktu pengamatan (JSP)	Indeks kombinasi		Sifat interaksi	
		LC ₅₀	LC ₉₅	LC ₅₀	LC ₉₅
EtPa + MeSr	48	1,162	0,692	Aditif	Sinergistik lemah
	72	1,242	0,767	Aditif	Sinergistik lemah
	96	1,221	0,766	Aditif	Sinergistik lemah
EtPa + AqSr	48	1,193	0,918	Aditif	Aditif
	72	1,335	1,039	Aditif	Aditif
	96	1,335	1,039	Aditif	Aditif

^aMacam ekstrak seperti pada Tabel 1.

Tabel 3. Persentase instar III dan IV larva *Crocidolomia pavonana* pada perlakuan dengan ekstrak buah sirih hutan dan buah lerak serta campurannya pada 96 JSP

Perlakuan ^a	Konsentrasi (% w/v)	Jumlah larva yang masih hidup	Instar II (%) ^a	Instar III (%) ^a	Instar IV (%) ^a
Ekstrak etil asetat buah sirih hutan (EtPa)	0	90	0	23,3	76,7
	0,05	86	0	62,8	37,2
	0,09	74	0	75,7	24,3
	0,12	64	6,3	65,6	28,1
	0,16	43	6,5	84,8	8,7
	0,19	17	11,8	88,2	0
	0,23	0	0	0	0
Ekstrak metanol buah lerak (MeSr)	0	90	0	12,2	87,8
	0,75	63	80,9	19,1	0
	1,20	32	84,4	15,6	0
	1,65	17	88,2	11,8	0
	2,10	9	88,9	11,1	0
	2,55	3	100	0	0
	3,00	0	0	0	0
Ekstrak air buah lerak (AqSr)	0	90	0	8,9	91,1
	0,80	89	25,8	46,1	28,1
	1,40	68	25,0	55,9	19,1
	2,00	41	29,3	56,1	14,6
	2,60	20	20,0	70,0	10,0
	3,20	8	25,0	75,0	0
	3,80	5	20,0	80,0	0
Ekstrak EtPa + MeSr (1 : 10)	0	90	0	0	100
	0,55	62	54,8	45,2	0
	0,66	38	81,6	18,4	0
	0,77	16	81,2	18,8	0
	0,88	16	87,5	12,5	0
	0,99	2	100	0	0
	1,10	0	0	0	0
Ekstrak EtPa + AqSr (1 : 10)	0	90	0	6,7	93,3
	0,71	68	66,2	33,8	0
	0,90	47	85,1	14,9	0
	1,09	38	84,2	15,8	0
	1,28	13	84,6	15,4	0
	1,46	7	100	0	0
	1,65	0	0	0	0

^aPersentase relatif terhadap jumlah larva yang masih hidup

PEMBAHASAN

Pada rentang konsentrasi yang diuji, baik ekstrak buah sirih hutan maupun ekstrak buah lerak bekerja secara bertahap dalam mematikan serangga uji. Hal tersebut menunjukkan bahwa berhentinya fungsi tubuh serangga secara menyeluruh akibat peracunan oleh senyawa aktif dalam ekstrak kedua bahan tumbuhan tersebut tidak berlangsung secara cepat dan bersamaan.

Hasyim (2011) melaporkan bahwa fraksi aktif ekstrak *n*-heksana buah sirih hutan mengandung dilapiol sebagai komponen utama (68,8%) dan memiliki LC_{95} terhadap larva *C. pavonana* sebesar 769 ppm. Sebelumnya, Bernard et al. (1995) melaporkan bahwa daun sirih hutan juga mengandung dilapiol sebagai komponen aktif utama. Perlakuan dengan fraksi heksana, diklorometana, etil asetat, dan metanol daun sirih hutan pada konsentrasi 100 ppm serta dilapiol 0,1 ppm mengakibatkan kematian larva nyamuk *Aedes atropalpus* berturut-turut 26%, 72%, 2%, 0%, dan 92%.

Berbeda dengan senyawa aktif piperamida dalam berbagai jenis tumbuhan *Piper* yang bekerja sebagai racun saraf dan mengakibatkan *knockdown* serta kematian serangga dengan cepat (Scott et al. 2008), senyawa aktif dilapiol (golongan lignan) dalam buah sirih hutan tidak bekerja sebagai racun saraf, tetapi lebih bersifat sebagai racun metabolik (Bernard et al. 1995). Dilapiol dapat menghambat proses oksidasi di dalam sel yang dikatalisis oleh enzim PSMO (Bernard et al. 1989). Proses oksidasi tersebut umumnya terjadi pada senyawa yang bersifat racun di dalam sel yang mengakibatkan penurunan daya racun senyawa tersebut. Terhambatnya aktivitas enzim PMSO dapat mengakibatkan terjadinya penumpukan senyawa beracun di dalam sel yang selanjutnya dapat mengakibatkan kematian sel dan lambat laun mengakibatkan kematian serangga (Bernard et al. 1995).

Buah lerak mengandung senyawa saponin sebagai komponen utama (Sunaryadi 1999; Widowati 2003). Saponin bersifat sebagai surfaktan yang mempunyai struktur bipolar, yaitu di dalam molekulnya terdapat bagian yang bersifat hidrofilik dan hidrofobik sehingga dapat

menyatukan senyawa nonpolar dan senyawa polar, termasuk mengikat lapisan lemak dalam air. Saponin berinteraksi dengan membran sel dengan cara menurunkan tegangan permukaan membran sel sehingga permeabilitas membran sel meningkat (Tekeli et al. 2007; Wina 2012). Hal tersebut dapat mengakibatkan terjadinya kebocoran sel yang selanjutnya terjadi kematian sel dan lambat laun mengakibatkan kematian serangga.

Pada taraf LC_{95} - 72 JSP, ekstrak etil asetat buah sirih hutan (EtPa) lebih beracun terhadap larva *C. pavonana* daripada ekstrak metanol buah lerak (MeSr) dan ekstrak air buah lerak (AqSr), masing-masing sebesar 14,5 dan 12,8 kali. Hal tersebut mungkin disebabkan oleh perbedaan toksisitas senyawa aktif atau perbedaan kandungan senyawa aktif yang terdapat dalam ekstrak tersebut. Selain itu, perbedaan jenis pelarut juga dapat memengaruhi banyaknya bahan aktif yang terekstrak (Houghton & Raman 1998).

Toksistas ekstrak etil asetat buah sirih hutan dalam penelitian ini (LC_{50} dan LC_{95} pada 96 JSP masing-masing 0,138% dan 0,298%) sebanding dengan toksistas ekstrak *n*-heksana buah sirih hutan yang dilaporkan oleh Hasyim (2011) (LC_{50} dan LC_{95} pada 96 JSP masing-masing 0,129% dan 0,262%) dan ekstrak etil asetat buah sirih hutan yang dilaporkan oleh Nailufar (2011) (LC_{50} dan LC_{95} pada 96 JSP masing-masing 0,141% dan 0,317%). Asal buah sirih hutan dalam penelitian ini sama dengan yang digunakan oleh Hasyim (2011) dan Nailufar (2011). Perbedaan kecil dalam toksistas pada taraf LC_{95} dapat disebabkan oleh perbedaan jenis pelarut yang digunakan serta perbedaan musim dan umur tanaman saat pengambilan bahan tumbuhan. Hal tersebut dapat mengakibatkan perbedaan kandungan bahan aktif yang selanjutnya dapat memengaruhi aktivitas ekstrak yang diperoleh (Kaufman et al. 2006).

Berdasarkan perbandingan LC_{50} dan LC_{95} pada 72 JSP, campuran ekstrak EtPa + MeSr masing-masing sekitar 1,48 dan 1,64 kali lebih beracun terhadap larva *C. pavonana* daripada campuran ekstrak EtPa + AqSr. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh perbedaan jenis pelarut yang dapat memengaruhi banyaknya bahan aktif yang terekstrak (Houghton & Raman 1998). Pelarut metanol tampaknya dapat mengekstrak

lebih banyak senyawa aktif buah lerak yang kompatibel dengan senyawa aktif buah sirih hutan dibandingkan dengan air.

Campuran ekstrak EtPa + MeSr pada taraf LC_{50} dan campuran ekstrak EtPa + AqSr pada taraf LC_{50} dan LC_{95} memiliki sifat aktivitas yang sama (aditif), sedangkan campuran ekstrak EtPa + MeSr pada taraf LC_{95} memiliki sifat aktivitas yang lebih baik (sinergistik lemah) daripada campuran ekstrak EtPa + AqSr. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada konsentrasi yang cukup tinggi penambahan ekstrak MeSr lebih baik dalam meningkatkan toksisitas ekstrak EtPa daripada ekstrak AqSr.

Gangguan pada membran sel oleh senyawa lerak yang terekstrak dengan air tampaknya tidak meningkatkan penetrasi senyawa aktif sirih hutan melalui dinding saluran pencernaan makanan serangga secara nyata. Selain itu, hambatan oleh senyawa aktif sirih hutan (dilapiol) terhadap aktivitas enzim PSMO dalam menurunkan daya racun senyawa aktif ekstrak air lerak tampaknya juga tidak terlalu nyata dalam meningkatkan aktivitas campuran ekstrak EtPa + AqSr sehingga campuran tersebut bersifat aditif baik pada taraf LC_{50} maupun LC_{95} . Sebaliknya, pada campuran ekstrak EtPa + MeSr pada konsentrasi yang cukup tinggi, kebocoran membran sel oleh senyawa lerak yang terekstrak dengan pelarut metanol tampaknya dapat meningkatkan penetrasi senyawa aktif sirih hutan melalui dinding saluran pencernaan makanan serangga secara cukup nyata. Selain itu, hambatan dilapiol terhadap aktivitas enzim PSMO dalam menurunkan daya racun senyawa aktif ekstrak metanol lerak tampaknya juga cukup nyata dalam meningkatkan aktivitas campuran ekstrak EtPa + MeSr sehingga campuran tersebut bersifat sinergistik lemah pada taraf LC_{95} .

Selain mengakibatkan kematian, perlakuan dengan ekstrak buah sirih hutan dan ekstrak buah lerak secara tunggal dan dalam bentuk campuran dapat menghambat perkembangan larva *C. pavonana*. Hambatan perkembangan tersebut kemungkinan disebabkan oleh sifat penghambat makan dari ekstrak buah sirih hutan dan ekstrak buah lerak karena larva makan daun perlakuan dalam jumlah sedikit (pengamatan visual) dan larva aktif makan kembali setelah daun perlakuan diganti dengan daun tanpa perlakuan sehingga larva dapat melanjutkan perkembangannya.

Selain itu, hambatan perkembangan tersebut juga dapat disebabkan oleh pengaruh gabungan dari sifat penghambat makan dan peracunan oleh senyawa aktif ekstrak tersebut pada sel-sel atau jaringan yang terlibat dalam proses pencernaan makanan dan pertumbuhan serangga. Dilapiol mengganggu metabolisme sekunder di dalam sel pada proses oksidasi senyawa racun (Bernard et al. 1989; Scott et al. 2008) dan saponin merusak membran sel (Wina 2012). Kebocoran membran sel dan gangguan metabolisme pada sel-sel saluran pencernaan makanan dan sel-sel lain dapat mengakibatkan penurunan aktivitas makan dan pertumbuhan serangga.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ekstrak etil asetat buah sirih hutan memiliki toksisitas yang kuat terhadap larva *C. pavonana* (LC_{95} tidak lebih dari 0,3%). Mengingat tumbuhan sirih hutan mudah ditemukan di berbagai daerah di Indonesia, ekstrak buah sirih hutan berpotensi dikembangkan sebagai insektisida nabati komersial. Untuk penggunaan di tingkat petani, perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan ekstrak yang disiapkan dengan air menggunakan peralatan yang tersedia di tingkat petani.

Ekstrak lerak yang disiapkan dengan air, baik secara tunggal maupun dalam campurannya dengan ekstrak buah sirih hutan, cukup efektif terhadap larva *C. pavonana*. Dengan demikian, penambahan ekstrak air lerak pada ekstrak buah sirih hutan dapat dilakukan sendiri oleh petani. Sementara ekstrak metanol lerak dapat ditambahkan pada ekstrak buah sirih hutan dalam sediaan komersial. Irawan (2012) melaporkan bahwa penambahan ekstrak metanol buah lerak dapat memperpanjang persistensi ekstrak etil asetat daun *T. vogelii* (konsentrasi $2 \times LC_{95}$) dari 3 hari menjadi 5 hari. Dengan demikian, campuran ekstrak EtPa + MeSr pada konsentrasi yang cukup tinggi selain bersifat sinergis juga diharapkan cukup persisten sehingga dapat meningkatkan efisiensi aplikasi.

Manfaat ekstrak buah sirih dan campurannya dengan ekstrak lerak sebagai insektisida nabati dapat ditingkatkan bila bahan nabati tersebut juga efektif terhadap hama-hama tanaman lain. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang hal tersebut. Pengembangan penelitian juga dapat dilakukan dengan menguji keefektifan campuran

ekstrak buah sirih hutan dan lerak terhadap hama sasaran tertentu di lapangan dan mengevaluasi keamanannya terhadap musuh alami utama dari hama sasaran.

KESIMPULAN

Pada taraf LC_{95} - 72 JSP, ekstrak etil asetat buah sirih hutan (EtPa) (LC_{95} 0,298%) lebih beracun terhadap larva *C. pavonana* daripada ekstrak metanol buah lerak (MeSr) dan ekstrak air buah lerak (AqSr), masing-masing sekitar 14,5 dan 12,8 kali. Sementara itu, pada taraf yang sama, campuran ekstrak EtPa + MeSr (LC_{95} 0,954%) sekitar 1,64 kali lebih beracun terhadap larva *C. pavonana* daripada campuran ekstrak EtPa + AqSr. Berdasarkan indeks kombinasi pada pengamatan 48, 72, dan 96 JSP, campuran ekstrak EtPa + MeSr pada taraf LC_{50} serta campuran ekstrak EtPa + AqSr pada taraf LC_{50} dan LC_{95} bersifat aditif. Sementara itu, campuran ekstrak EtPa + MeSr pada taraf LC_{95} bersifat sinergistik lemah. Selain mengakibatkan kematian, perlakuan dengan ekstrak uji juga dapat menghambat perkembangan larva *C. pavonana*. Berdasarkan hasil tersebut, ekstrak etil asetat buah sirih hutan, ekstrak metanol buah lerak, dan ekstrak air buah lerak, serta campuran ekstrak sirih hutan dan ekstrak lerak berpotensi digunakan sebagai salah satu alternatif pengendalian hama *C. pavonana*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sdr. Saodik dan Sdr. Agus Sudrajat atas bantuan teknis dalam menyiapkan media tanam untuk perbanyak tanaman brokoli sebagai sumber pakan larva *C. pavonana*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abizar M, Prijono D. 2010. Aktivitas insektisida ekstrak daun dan biji *Tephrosia vogelii* J.D. Hooker (Leguminosae) dan ekstrak buah *Piper cubeba* L. (Piperaceae) terhadap larva *Crociodolomia pavonana* (F.) (Lepidoptera: Crambidae). *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika* 10:1-12.
- Bernard CB, Arnason JT, Philogene BJR, Lam J, Waddell T. 1989. Effects of lignans and other secondary metabolites of the Asteraceae on the PSMO activity of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis*. *Phytochemistry* 28:1373-1378. [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)97749-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422(00)97749-5).
- Bernard CB, Krishnamurty HG, Chauret D, Durst T, Philogene BJR, Vindas PS, Hasbun C, Poveda L, Roman LS, Arnason JT. 1995. Insecticidal defenses of Piperaceae from the Neotropics. *Journal of Chemical Ecology* 21:801-814. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02033462>.
- Chou TC, Talalay P. 1984. Quantitative analysis of dose-effect relationships: the combined effects of multiple drugs or enzyme inhibitors. *Advances in Enzyme Regulation* 22:27-55. [http://dx.doi.org/10.1016/0065-2571\(84\)90007-4](http://dx.doi.org/10.1016/0065-2571(84)90007-4).
- Dadang, Prijono D. 2008. *Insektisida Nabati: Prinsip, Pemanfaatan, dan Pengembangan*. Bogor: Departemen Proteksi Tanaman, Institut Pertanian Bogor.
- Djojosemarto P. 2008. *Pestisida dan Aplikasinya*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Gisi U. 1996. Synergistic interaction of fungicides in mixtures. *Phytopathology* 86:1273-1279.
- Hasyim DM. 2011. *Potensi Buah Sirih Hutan (Piper aduncum) sebagai Insektisida Botani terhadap larva Crocidolomia pavonana*. Tesis MSi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Heyne K. 1987. *Tumbuhan Berguna Indonesia* (terjemahan dari *De Nuttige Planten van Ned-Indie*). Jilid II. Badan Litbang Kehutanan Jakarta, penerjemah. Jakarta: Yayasan Sarana Warna Jaya.
- Houghton PJ, Raman A. 1998. *Laboratory Handbook for the Fractionation of Natural Extracts*. London: Chapman & Hall. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-5809-5>.
- Irawan R. 2012. *Toksitas Campuran Ekstrak Daun Tephrosia vogelii (Leguminosae) dan Buah Sapindus rarak (Sapindaceae) terhadap Larva Crocidolomia pavonana*. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Kaufman PB, Kirakosyan A, McKenzie M, Dayanandan P, Hoyt JE, Li C. 2006. The uses of plant natural product by humans and risk associated with their use. In: Cseke LJ, Kirakosyan A, Kaufman PB, Warber SL, Duke JA, Briellmann HL (Eds.), *Natural Products from Plants*. pp. 441-473. Boca Raton: CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/9781420004472.ch12>.
- Kosman E, Cohen Y. 1996. Procedures for calculating and differentiating synergism and antagonism in

- action of fungicide mixtures. *Phytopathology* 86:1255-1264.
- LeOra Software. 1987. *POLO-PC User's Guide*. Petaluma: LeOra Software.
- Martin T, Ochou OG, Vaissayre M, Fournier D. 2003. Organophosphorous insecticides synergize pyrethroids in the resistant strain of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) from West Africa. *Journal of Economic Entomology* 96:468-474. <http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493-96.2.468>.
- Metcalf RL. 1982. Insecticides in pest management. In: Metcalf RL, Luckman WH (Eds.), *Introduction to Insect Pest Management*. 2nd ed. pp. 215-275. New York: John Wiley & Sons.
- Nailufar N. 2011. *Aktivitas Insektisida Ekstrak Daun Tephrosia vogelii (Leguminosae) dan Buah Piper aduncum (Piperaceae) terhadap Larva Crocidolomia pavonana*. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Perry AS, Yamamoto I, Ishaaya I, Perry RY. 1998. *Insecticides in Agriculture and Environment: Retrospects and Prospects*. Berlin: Springer-Verlag. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-03656-3>.
- Prakash A, Rao J. 1997. *Botanical Pesticides in Agriculture*. Boca Raton: CRC Press.
- Prijono D, Hassan E. 1992. Life cycle and demography of *Crocidolomia binotalis* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) on broccoli in the laboratory. *Indonesian Journal of Tropical Agriculture* 4:18-24.
- Sastrosiswojo S, Setiawati W. 1992. Biology and control of *Crocidolomia binotalis* in Indonesia. In: Talekar NS (Ed.), *Proceedings of the Second International Workshop on Diamondback Moth and Other Crucifer Pests (Tainan, 10-14 December 1990)*. pp. 81-90. Taipei: Asian Vegetable Research and Development Centre.
- Scott IM, Jensen HR, Philogene BJR, Arnason JT. 2008. A review of *Piper* spp. (Piperaceae) phytochemistry, insecticidal activity and mode of action. *Phytochemical Review* 7:65-75. <http://dx.doi.org/10.1007/s11101-006-9058-5>.
- Sudarwohadi, 1975. Hubungan antara waktu tanam kubis dengan dinamika populasi *Plutella maculipennis* dan *Crocidolomia binotalis* Zeller. *Buletin Penelitian Hortikultura* 3:3-14.
- Sunaryadi. 1999. *Ekstraksi dan Isolasi Saponin Buah Lerak (Sapindus rarak) serta Pengujian Daya Defaunasinya*. Tesis MS. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Tekeli A, Çelik L, Kutlu HR. 2007. Plant extracts; a new rumen moderator in ruminant diets. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty* 4:71-79.
- Uhan TS, Sulastrini I. 1993. Resistensi *Crocidolomia binotalis* Zell. strain Lembang terhadap beberapa jenis insektisida. *Jurnal Hortikultura* 3:75-79.
- Widowati L. 2003. *Sapindus rarak* DC. In: Lemmens RHMJ, Bunyapraphastara N (Eds.), *Plant Resources of South-East Asia Vol 12(3). Medicinal and Poisonous Plants*. pp. 358-359. Bogor: Prosea Foundation.
- Wina E. 2012. The use of plant bioactive compounds to mitigate enteric methane in ruminants and its application in Indonesia. *Wartazoa* 22:24-34.