

# Resistensi Wereng Cokelat terhadap Insektisida yang Beredar di Sentra Produksi Padi

## *Brown Planthopper Resistance to Insecticides Marketed in the Rice Production Areas*

Baehaki, S.E, E.H. Iswanto, dan D. Munawar

Balai Besar Penelitian Tanaman Padi  
Jl. Raya No.9, Sukamandi. Subang, Jawa Barat, Indonesia  
E-mail: baehakise@yahoo.co.id

---

Naskah diterima 12 Mei 2015, direvisi 4 Maret 2016, disetujui diterbitkan 11 Maret 2016

---

### ABSTRACT

Research on brown planthopper (BPH), (*Nilaparvata lugens* (Stal.) resistant to insecticide using dipping method was carried out in the wet season (WS) of 2011/2012 at Indonesian Center for Rice Research, Sukamandi. BPH field population from Sukamandi, West Java, known as Sukamandi BPH population and Juwiring, Central Java, as Juwiring BPH population, were measured their degree of resistance to insecticides to be compared with the BPH biotype 1 of screen house population. The insecticides used were imidacloprid, ethiprole, thiamethoxam, fipronil, BPMC, MIPC, buprofezin, cypermethrin and cyhalothrin. The resistance ratios (RR) were measured by  $LC_{50}$  of BPH from fields/ $LC_{50}$  of BPH from screen house. Results showed that Sukamandi BPH population was moderately resistance to imidacloprid and cypermethrin, but was low resistance to buprofezin, and was decreasing into susceptibility to fipronil, thiamethoxam and cyhalothrin, where as to ethiprole, BPMC dan MIPC the Sukamandi BPH was still susceptible. The Juwiring BPH population was low resistance to imidacloprid, buprofezin, cypermethrin and cyhalothrin, but the Juwiring BPH was decreasing into susceptibility to BPMC, ethiprole and fipronil. The population was still susceptible to thiamethoxam and MIPC.

Keywords: Rice, brown planthopper, insecticides, resistance.

### ABSTRAK

Penelitian resistensi wereng cokelat, *Nilaparvata lugens* (Stal.) terhadap insektisida menggunakan metode celup dilaksanakan pada MH 2011/2012 di Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Sukamandi, Jawa Barat. Wereng cokelat populasi lapangan yang diukur resistensinya terhadap insektisida berasal dari persawahan Sukamandi (wereng cokelat populasi Sukamandi) dan Juwiring, Klaten, Jawa Tengah (wereng cokelat populasi Juwiring) dibandingkan dengan wereng cokelat biotipe 1 populasi rumah kaca. Insektisida yang digunakan adalah imidakloprid, etiprol, tiametoksam, fipronil, BPMC, MIPC, buprofezin, sipermethrin dan sihalothrin. Rasio resistensi (RR) ditunjukkan oleh perbandingan  $LC_{50}$  wereng cokelat lapangan dan  $LC_{50}$  wereng cokelat rumah kaca. Hasil analisis probit menunjukkan wereng cokelat populasi Sukamandi agak resisten terhadap insektisida imidakloprid dan sipermethrin, disusul resistensi

rendah terhadap insektisida buprofezin, tetapi kerentanan wereng cokelat menurun terhadap insektisida fipronil, tiametoksam dan sihalothrin, sedangkan terhadap etiprol, BPMC dan MIPC masih rentan. Wereng cokelat populasi Juwiring memperlihatkan resistensi rendah terhadap insektisida imidakloprid, buprofezin, sipermethrin dan sihalothrin. Di lain pihak kerentanan wereng cokelat tersebut menurun terhadap insektisida BPMC, etiprol dan fipronil, sedangkan terhadap tiametoksam dan MIPC masih rentan.

Kata kunci: Padi, wereng cokelat, insektisida, resistensi.

### PENDAHULUAN

Wereng cokelat, *Nilaparvata lugens* (Stal.) (Homoptera: Delphacidae) merupakan hama utama tanaman padi yang mempunyai sifat: a) berkembang biak dengan cepat dan mampu mempergunakan sumber makanan dengan baik sebelum serangga lain ikut berkompetisi, b) serangga kecil yang cepat menemukan habitatnya, c) menyebar dengan cepat ke habitat baru sebelum habitat lama tidak lagi berguna, d) mudah beradaptasi dengan habitat baru (varietas tahan) membentuk populasi/biotipe baru, dan e) mudah mematahkan kemanjuran insektisida, sehingga menjadi resisten terhadap insektisida (Baehaki 2012).

Ledakan wereng cokelat salah satunya disebabkan oleh ketidakmampuan insektisida mengendalikan karena telah resisten atau resurgen. Resistensi dapat diartikan sebagai perubahan sensitivitas yang diwariskan dalam populasi hama yang tercermin dalam kegagalan berulang suatu insektisida untuk mengendalikan hama sesuai dengan dosis rekomendasi. Di alam, resistensi insektisida ditentukan oleh mutasi acak dari alel-R (gen untuk resisten) spesies hama. Mutasi ini dapat melalui proses biokimia, fisiologi, dan perilaku serangga terhadap insektisida. Keberadaan R-alel di alam hanya

$10^{-4}$  sampai  $10^{-2}$  dengan RR homozigotnya  $10^{-8}$  sampai  $10^{-4}$  (Muller 2000). Aplikasi insektisida pertama kali menyebabkan serangga hama dengan S-alel (gen rentan) banyak yang mati, namun sebagian kecil serangga hama dengan R-alel bertahan hidup dan membentuk populasi tahan akibat *genetic makeup*. Persilangan individu-individu hama yang tahan akan menurunkan gen-gen tahan pada generasi berikutnya, sehingga penggunaan insektisida berikutnya meningkatkan proporsi individu yang kurang rentan dalam populasi. Proses seleksi berkelanjutan menyebabkan berkembangnya individu tahan secara bertahap dari generasi ke generasi, yang akhirnya terbentuk populasi yang didominasi oleh serangga hama tahan insektisida.

Di lain pihak, resurgensi wereng cokelat merupakan proses peningkatan populasi setelah aplikasi insektisida dengan laju pertumbuhan yang lebih tinggi dari yang tidak diaplikasi insektisida. Resurgensi dapat terjadi karena perubahan fisiologi tanaman sehingga lebih disukai wereng, atau ada rangsangan insektisida terhadap wereng untuk bertelur, makan, dan penetasan telur. James dan Price (2002) melaporkan perlakuan imidacloprid meningkatkan populasi *Tetranychus urticae* Koch, bukan disebabkan oleh tidak adanya musuh alami, tetapi karena perubahan fisiologi tanaman.

Insektisida organofosfat, karbamat, dan pyrethroid telah dipakai dalam waktu yang lama dan merupakan insektisida generasi tua. Tipe insektisida baru adalah neonicotinoid (imidakloprid) and phenylpyrazole (fipronil), dapat menurunkan populasi wereng cokelat dan wereng punggung putih di Jepang dan beberapa Negara Asia Timur, namun sejak 2005 insektisida tersebut terdeteksi menimbulkan resistensi terhadap wereng di Asia Timur dan Indochina (Matsumura *et al.* 2008). Di India, pengendalian wereng cokelat memerlukan dosis insektisida yang berlipat, karena terjadi resistensi terhadap beberapa insektisida (Basanth *et al.* 2013). Insektisida yang banyak digunakan di China adalah organofosfat dan karbamat, kemudian berkembang imidakloprid, namun sejak 2006 wereng cokelat telah resisten terhadap imidakloprid (Wang *et al.* 2008).

Resistensi wereng cokelat terhadap insektisida diukur dengan  $LD_{50}$  (*lethal dose 50%*) menggunakan metode *topical* atau  $LC_{50}$  (*lethal concentrate 50%*) dengan metode celup (IRAC 2008). Penelitian ini bertujuan mengukur tingkat resistensi wereng cokelat dari daerah ledakan terhadap insektisida sebagai dasar pengendalian wereng cokelat dengan insektisida yang terukur.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian uji resistensi wereng cokelat terhadap insektisida berbahan aktif imidakloprid, tiametoksam, fipronil, buprofezin, sipermethrin, sihalothrin, BPMC, dan MIPC dilakukan di Balai Besar Penelitian Padi (BB Padi), Sukamandi, Jawa Barat, MH pada MP 2011/2012 menggunakan wereng cokelat populasi lapangan yang berasal dari Sukamandi, Jawa Barat (populasi Sukamandi) dan Juwiring, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah sebagai (populasi Juwiring).

### Penentuan $LC_5$ dan $LC_{95}$ Wereng Cokelat Populasi Lapangan terhadap Insektisida

Pengumpulan wereng cokelat populasi lapangan dilakukan di daerah ledakan (*hot spot*) persawahan Sukamandi dan Juwiring, dilanjutkan dengan perbanyak wereng cokelat di rumah kaca. Perbanyak wereng cokelat menggunakan varietas padi Pelita I/1 berumur 30 hari setelah tanam, sedangkan untuk pengujian resistensi menggunakan varietas padi Pelita I/1 berumur 20 hari setelah semai. Perbanyak wereng cokelat populasi lapangan sampai generasi ke-3 bertujuan untuk mendapatkan wereng cokelat bersayap kerdil (brakhiptera).

Alat yang digunakan adalah kurungan penetasan telur atau perbanyak serangga dari plastik silinder berjendela berdiameter 18 cm dengan tinggi 80 cm dan ditutup kain kasa, ember plastik berdiameter 20 cm untuk tanaman padi, tabung reaksi berdiameter 2 cm dengan tinggi 22 cm, kuas halus, pinset, mikropipet, cutter, dan gelas paruh (*beacker glass*). Metode yang digunakan adalah pencelupan bibit padi pada larutan insektisida sebelum diinfestasi wereng cokelat (IRAC 2008).

$LC_5$  dan  $LC_{95}$  ditentukan oleh konsentrasi insektisida yang menimbulkan mortalitas 5% dan 95%. Perlakuan insektisida berdasar konsentrasi anjuran (DA) dan dibuat enam konsentrasi yaitu 2DA, DA,  $\frac{1}{2}$  DA,  $\frac{1}{4}$  DA,  $\frac{1}{8}$  DA, dan kontrol (tanpa insektisida). Insektisida dengan masing-masing dosis tersebut dilarutkan dalam 1 liter akuades pada ember kecil berdiameter 13 cm. Tanaman padi Pelita I/1 berumur 21 hari setelah semai dicelupkan ke dalam larutan insektisida selama 5 detik. Tanaman yang telah dicelup ditiriskan pada kertas koran. Setelah larutannya kering, ke dalam masing-masing tabung reaksi dimasukkan satu batang padi. Setiap konsentrasi dari satu insektisida diulang lima kali (lima tabung reaksi). Kemudian, ke dalam masing-masing tabung dimasukkan 5 ekor wereng cokelat bersayap kerdil, sehingga pada satu konsentrasi insektisida diuji 25 ekor wereng cokelat bersayap kerdil.

Pengamatan mortalitas wereng cokelat dilakukan 48 jam setelah perlakuan. Dalam perhitungan, mortalitas adalah tingkat kematian 25 ekor wereng bersayap kerdil. Apabila pada kontrol ditemukan serangga mati  $\geq 20\%$ , maka penelitian harus diulang untuk mendapatkan akurasi perhitungan  $LC_5$  dan  $LC_{95}$  dalam menentukan kisaran konsentrasi pada tahap uji resistensi. Analisis data menggunakan analisis probit dengan program perangkat lunak *Statistical Analysis System (SAS Software)*.

### Uji Resistensi Wereng Cokelat Populasi Lapangan terhadap Insektisida

Pengujian resistensi wereng cokelat populasi Sukamandi dan Juwiring terhadap insektisida untuk menetapkan nilai  $LC_{50}$  yang dibandingkan dengan wereng cokelat biotipe 1 populasi rumah kasa menggunakan konsentrasi berdasar interval geometris. Gradien konsentrasi pada uji resistensi berdasar  $LC_5$  dan  $LC_{95}$  dari masing-masing insektisida menggunakan rumus interval geometris (Finney dalam Busvine 2011):

$$A = \text{antilog } n \sqrt[n]{\frac{LC_{95}}{LC_5}}$$

A = interval geometris

n = jumlah seri konsentrasi

Gradien konsentrasi insektisida yang digunakan untuk wereng cokelat populasi Sukamandi adalah konsentrasi 1 =  $LC_{95}$ , konsentrasi 2 =  $LC_5 \times A \times A \times A$ , konsentrasi 3 =  $LC_5 \times A \times A$ , konsentrasi 4 =  $LC_5 \times A$ , konsentrasi 5 =  $LC_5$ , dan konsentrasi 6 = kontrol (tanpa insektisida). Untuk wereng cokelat biotipe 1, gradien konsentrasi insektisida menggunakan  $LC_5$  dari wereng populasi Sukamandi sebagai berikut: 1 = konsentrasi  $LC_5 \times A \times A \times A$ , konsentrasi 2 =  $LC_5 \times A \times A$ , konsentrasi 3 =  $LC_5 \times A$ , konsentrasi 4 =  $LC_5$ , 5 =  $\frac{1}{2} LC_5$  dan konsentrasi 6 = kontrol (tanpa insektisida).

Bahan wereng cokelat, insektisida, cara pengujian, pengamatan mortalitas, analisis data menggunakan analisis probit dengan program komputer SAS, sama seperti pada penentuan  $LC_5$  dan  $LC_{95}$ . Hasil analisis probit pada insektisida ditunjukkan persamaan regresi dengan notasi Y (probit mortalitas) sebagai variabel tidak bebas (*dependent*), X (log konsentrasi) sebagai variabel bebas (*independent*), a sebagai intersep (konstanta), dan b sebagai koefisien regresi (*slope*). Akurasi persamaan regresi berbeda nyata dihitung dengan nilai t-rasio ( $\text{slope/SE}$ ) > 1,96.

Tingkat resistensi wereng cokelat populasi Sukamandi atau populasi juwiring diukur dengan rasio resistensi (RR) atau faktor resistensi (*resistance factors*

= RF) yang dihitung dari nisbah  $LC_{50}$  wereng cokelat populasi lapangan dan  $LC_{50}$  wereng cokelat biotipe 1 populasi rumah kasa sebagai berikut:

$$\text{Rasio Resistensi (RR) wereng cokelat} = \frac{LC_{50} \text{ wereng cokelat populasi lapangan}}{LC_{50} \text{ wereng cokelat populasi rumah kasa}}$$

WHO (1980) dalam Lai et al. (2011) mengelompokkan resistensi menjadi enam tingkat, yaitu rentan (*susceptible*, RR = 1), kerentanan menurun (*decreased susceptibility*, RR = 3-5), resistensi rendah (*low resistance*, RR = 5-10), agak resisten (*moderately resistant*, RR = 10-40), resistensi tinggi (*highly resistant*, RR = 40-160), dan resistensi sangat tinggi (*very highly resistant*, RR > 160). Nilai RR wereng cokelat terhadap insektisida menunjukkan berapa kali lipat dosis insektisida yang digunakan untuk mematikan 50% wereng cokelat. Tingkat resistensi < 4 menunjukkan pemakaian insektisida masih menguntungkan secara ekonomi, namun bila tingkat resistensi > 4 kurang menguntungkan karena terlalu banyak insektisida yang harus diberikan pada tanaman budi daya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penentuan $LC_5$ dan $LC_{95}$ Wereng Cokelat Populasi Lapangan terhadap Insektisida

Wereng cokelat populasi Sukamandi memperlihatkan  $LC_5$  yang sangat rendah terhadap imidakloprid, buprofezin dan fipronil, namun memperlihatkan  $LC_{95}$  yang tinggi. Di lain pihak wereng cokelat populasi Juwiring memperlihatkan interval cukup sempit antara  $LC_5$  dan  $LC_{95}$  terhadap imidakloprid, buprofezin dan fipronil (Tabel 1).

Wereng cokelat populasi Sukamandi memperlihatkan interval sedang antara  $LC_5$  dan  $LC_{95}$  terhadap insektisida sihalothrin, sedangkan wereng cokelat populasi Juwiring memperlihatkan interval sempit antara  $LC_5$  dan  $LC_{95}$  terhadap insektisida tersebut. Wereng cokelat populasi Sukamandi dan Juwiring memperlihatkan  $LC_5$  yang sangat rendah terhadap tiametoksam, namun memperlihatkan  $LC_{95}$  tinggi terhadap insektisida tersebut. Kedua populasi memperlihatkan interval sempit antara  $LC_5$  dan  $LC_{95}$  terhadap insektisida etiprol, sipermethrin, BPMC dan MIPC.

Data  $LC_5$  dan  $LC_{95}$  wereng cokelat terhadap insektisida digunakan untuk menentukan interval geometris masing-masing insektisida di masing-masing lokasi uji resistensi wereng cokelat.

Tabel 1. LC<sub>5</sub> dan LC<sub>95</sub> insektisida terhadap wereng cokelat populasi Sukamandi dan Juwiring.

Insektisida	Formulasi insektisida	LC (ml(g)/l) wereng cokelat Sukamandi		LC (ml(g)/l) wereng cokelat Juwiring	
		5	95	5	95
Imidakloprid	70WG	0,00045	141,82443	0,01531	5,75408
Etiprol	100EC	0,00053	1,83174	0,00176	3,50788
Buprofezin	10WP	0,00068	90,75854	0,01105	2,20029
Tiametoksam	25WG	0,00001	0,23633	0,51712	26,92954
Fipronil	80WG	0,02216	45,31774	0,01550	0,50432
Sipermethrin	20EC	0,00594	1,62795	0,00545	1,58809
Sihalothrin	25EC	0,00376	11,28567	0,01896	2,07526
BPMC	500EC	0,03286	0,91394	0,12346	0,84150
MIPC	50WP	0,05619	1,13859	0,05094	4,08426

Tabel 2. Konsentrasi insektisida untuk uji resistensi wereng cokelat populasi Sukamandi.

Insektisida	Formulasi insektisida	Interval geometris (A)	Konsentrasi (ml(g)/l)				
			1	2	3	4	5
Imidakloprid	70WG	23,69116	141,82443	5,98638	0,25268	0,01066	0,00045
Etiprol	100EC	7,66376	1,83174	0,23901	0,03118	0,00406	0,00053
Buprofezin	10WP	19,11510	90,75854	4,74800	0,24839	0,01299	0,00068
Tiametoksam	25WG	11,72606	0,23633	0,02015	0,00171	0,00014	0,00001
Fipronil	80WG	6,72472	45,31774	6,73897	1,00211	0,14902	0,02216
Sipermethrin	20EC	4,06877	1,62795	0,40010	0,09833	0,02416	0,00594
Sihalothrin	25EC	7,40175	11,28570	1,52472	0,20599	0,02783	0,00376
BPMC	500EC	2,29647	0,91394	0,39797	0,17329	0,07546	0,03286
MIPC	50WP	2,12166	1,13859	0,53664	0,25293	0,11921	0,05619

### Resistensi Wereng Cokelat Populasi Lapangan terhadap Insektisida

#### 1. Resistensi wereng cokelat populasi Sukamandi

Berdasarkan nilai LC<sub>5</sub> dan LC<sub>95</sub> wereng cokelat populasi Sukamandi terhadap insektisida (Tabel 1), maka didapatkan interval geometris yang dilanjutkan dengan menentukan gradien konsentrasi yang digunakan untuk menghitung LC<sub>50</sub> wereng cokelat populasi Sukamandi terhadap insektisida (Tabel 2).

Uji resistensi wereng cokelat populasi Sukamandi mengacu kepada gradien konsentrasi insektisida yang dipakai (Tabel 2), setelah melalui analisis probit didapatkan LC<sub>50</sub> dari masing-masing insektisida (Tabel 3). Wereng cokelat populasi Sukamandi memperlihatkan LC<sub>50</sub> insektisida imidakloprid untuk kematian wereng cokelat 50% memerlukan konsentrasi 0,540 g/l dengan selang kepercayaan (konfiden interval) 0,294 dan 0,942 g/l (Tabel 3). Persamaan regresi antara probit mortalitas (Y) dan log konsentrasi (X) adalah  $Y = 0,358 + 1,338 \log X$ . Slope pada persamaan regresi probit adalah 1,338 dengan nilai t-rasio ( $slope/SE$ )  $1,338/0,242 = 5,53 > 1,96$ . Nilai t-rasio tersebut menunjukkan regresi yang akurat

dan berbeda nyata, yang mengindikasikan perlakuan imidakloprid berpengaruh terhadap wereng cokelat.

LC<sub>50</sub> untuk insektisida etiprol adalah 0,007 ml/l dengan selang kepercayaan 0,004 dan 0,011 ml/l. Persamaan regresinya adalah  $Y = 5,701 + 2,648 \log X$ . Slope pada persamaan regresi probit adalah 2,648 dengan nilai t-rasio ( $slope/SE$ )  $2,648/0,626 = 4,23 > 1,96$ , yang menunjukkan regresi yang berbeda nyata dan mengindikasikan perlakuan etiprol berpengaruh terhadap wereng cokelat populasi Sukamandi.

LC<sub>50</sub> untuk insektisida tiametoksam, fipronil, MIPC dan buprofezin berturut-turut adalah 0,011 g/l; 0,376 g/l; 0,452 ml/l dan 0,121 g/l. LC<sub>50</sub> untuk insektisida BPMC adalah 0,173 ml/l, sedangkan LC<sub>50</sub> insektisida yang tidak direkomendasi sipermethrin dan sihalothrin adalah 1,322 dan 0,089 ml/l (Tabel 3). Persamaan regresi buprofezin:  $Y = 0,400 + 0,436 \log X$ . Persamaan regresi tiametoksam:  $Y = 1,688 + 0,867 \log X$ . Persamaan regresi fipronil:  $Y = 0,516 + 1,217 \log X$ . Persamaan regresi sipermethrin:  $Y = -0,913 + 7,529 \log X$ . Persamaan regresi sihalothrin:  $Y = 0,410 + 0,392 \log X$ . Persamaan regresi BPMC:  $Y = 1,734 + 2,278 \log X$ . Persamaan regresi MIPC:  $Y = 1,506 + 4,363 \log X$ . T-ratio semua insektisida tersebut berbeda nyata, yaitu lebih besar dari 1,96.

Tingkat resistensi wereng cokelat populasi Sukamandi diketahui dengan membandingkan LC<sub>50</sub> populasi Sukamandi dengan LC<sub>50</sub> wereng cokelat biotipe 1 populasi rumah kasa. Uji kepekaan wereng cokelat biotipe 1 menggunakan gradien konsentrasi insektisida LC<sub>5</sub> dari populasi Sukamandi. Uji kepekaan memperlihatkan LC<sub>50</sub> wereng biotipe 1 terhadap insektisida generasi baru imidakloprid, etiprol, buprofezin, tiametoksam, fipronil berturut-turut adalah 0,043 g/l; 0,006 ml/l; 0,020 g/l; 0,003 g/l dan 0,122 g/l. LC<sub>50</sub> wereng biotipe 1 terhadap insektisida sipermethrin, silalothrin, BPMC dan MIPC berturut-turut 0,129 ml/l; 0,025 ml/l; 0,098 ml/l dan 0,285 g/l

Berdasar LC<sub>50</sub> wereng cokelat biotipe 1, maka wereng cokelat populasi Sukamandi agak resisten (*moderately resistance*) dengan RR 12,7 terhadap insektisida imidakloprid, disusul resistensi rendah (*low resistance*) dengan RR 5,9 terhadap insektisida buprofezin. Wereng cokelat populasi Sukamandi menurun kerentanannya (*decreased susceptibility*) dengan RR 3,2-4,4 terhadap insektisida fipronil dan tiametoksam, sedangkan terhadap etiprol, BPMC dan MIPC masih rentan dengan RR 1,2-1,8 (Tabel 3).

Di lain pihak, wereng cokelat populasi Sukamandi agak resisten terhadap insektisida sipermethrin dengan nilai RR 10,2, namun terhadap silalothrin menurun kerentanannya dengan nilai RR 3,5. Di lapangan, insektisida tersebut tidak efektif mengendalikan wereng cokelat dengan dosis anjuran. Hal ini menunjukkan pemakaian insektisida untuk pengendalian wereng cokelat harus memperhitungkan tingkat resistensinya terhadap jenis insektisida.

**2. Resistensi wereng cokelat populasi Juwiring**

Berdasarkan nilai LC<sub>5</sub> dan LC<sub>95</sub> wereng cokelat populasi Juwiring terhadap insektisida (Tabel 1), maka didapatkan interval geometris yang dilanjutkan dengan penentuan gradient konsentrasi yang digunakan untuk menghitung LC<sub>50</sub> wereng cokelat populasi Juwiring terhadap insektisida (Tabel 4).

Uji resistensi wereng cokelat populasi Juwiring mengacu kepada konsentrasi insektisida yang dipakai (Tabel 4), setelah melalui analisis probit didapatkan LC<sub>50</sub> dari masing-masing insektisida (Tabel 5). Wereng cokelat populasi Juwiring menunjukkan LC<sub>50</sub> untuk insektisida

Tabel 3. LC<sub>50</sub> dan tingkat resistensi imago brakhiptera wereng cokelat populasi Sukamandi terhadap insektisida.

Insektisida	Formulasi	LC <sub>50</sub> (g/ml)/L*	95 Percent Fiducial Limits (g/ml)/L		Intercept (a)	Slope ± SE (b)	Tingkat resistensi wereng cokelat (RR)
			Batas bawah	Batas Atas			
Imidakloprid	70WG	0,540	0,294	0,942	0,358	1,338 ± 0,242	12,7
Etiprol	100EC	0,007	0,004	0,011	5,701	2,648 ± 0,626	1,2
Buprofezin	10WP	0,121	0,023	0,504	0,400	0,436 ± 0,081	5,9
Tiametoksam	25WG	0,011	0,004	0,026	1,688	0,867 ± 0,223	4,4
Fipronil	80WG	0,376	0,179	0,705	0,516	1,217 ± 0,209	3,2
Sipermethrin	20EC	1,322	1,116	1,481	-0,913	7,529 ± 1,862	10,2
Sihalothrin	25EC	0,089	0,010	0,402	0,410	0,392 ± 0,107	3,5
BPMC	500EC	0,173	0,101	0,249	1,734	2,278 ± 0,414	1,8
MIPC	50WP	0,452	0,314	0,562	1,506	4,363 ± 1,243	1,6

\*Formulasi WG dan WP adalah g/l, formulasi EC adalah ml/l.

RR (Rasio Resistensi) = LC<sub>50</sub> wereng coklat Subang/LC<sub>50</sub> wereng cokelat rumah kasa.

Tabel 4. Konsentarsi insektisida untuk uji wereng cokelat populasi Juwiring.

Insektisida	Formulasi insektisida	Interval geometris	Konsentarsi (ml(g)/l)				
			1	2	3	4	5
Imidakloprid	70WG	4,40301	5,75408	1,30685	0,29680	0,06741	0,01531
Etiprol	100EC	6,68163	3,50788	0,52500	0,07857	0,01176	0,00176
Buprofezin	10WP	3,75646	2,20029	0,58573	0,15592	0,04150	0,01105
Tiametoksam	25WG	2,68633	26,92950	10,02460	3,73172	1,38915	0,51712
Fipronil	80WG	2,38832	0,50432	0,21116	0,08841	0,03701	0,01550
Sipermethrin	20EC	4,13161	1,58809	0,38437	0,09303	0,02251	0,00545
Sihalothrin	25EC	3,23451	2,07526	0,64159	0,19836	0,06132	0,01896
BPMC	500EC	1,61577	0,8415	0,52080	0,32232	0,19948	0,12346
MIPC	50WP	2,99235	4,08426	1,36489	0,45612	0,15243	0,05094

Tabel 5. LC<sub>50</sub> dan tingkat resistensi imago brakhiptera wereng cokelat populasi Juwiring.

Insektisida	Formulasi	LC <sub>50</sub> (g/ml)/L*	95 Percent Fiducial Limits (g/ml)/L		Intercept (a)	Slope ± SE (b)	Tingkat resistensi wereng cokelat (RR)
			Batas bawah	Batas Atas			
Imidakloprid	70WG	0,297	0,177	0,449	0,674	1,277±0,213	7,0
Etiprol	100EC	0,024	0,001	0,156	0,151	0,707±0,232	4,1
Buprofezin	10WP	0,156	0,102	0,229	1,155	1,431±0,169	7,6
Tiametoksam	25WG	0,004	0,003	0,005	1,7737	0,732±0,132	1,5
Fipronil	80WG	0,561	0,420	0,673	1,387	5,520±1,445	4,6
Sipermethrin	20EC	0,713	0,512	0,425	0,582	3,959±0,967	5,5
Sihalothrin	25EC	0,198	0,045	0,338	1,133	1,613±0,441	7,8
BPMC	500EC	0,322	0,138	0,421	1,941	3,947±1,281	3,3
MIPC	50WP	0,456	0,284	0,654	0,589	1,728±0,281	1,6

\*Formulasi WG dan WP adalah g/l, formulasi EC adalah ml/l.

RR (Rasio Resistensi) = LC<sub>50</sub> wereng cokelat Klaten/LC<sub>50</sub> wereng cokelat rumah kasa.

imidakloprid adalah 0,297 g/l dengan batas atas dan bawah selang kepercayaan 0,177 dan 0,449 g/l (Tabel 5). Persamaan regresi antara probit mortalitas (Y) dan log konsentrasi (X) adalah  $Y = 0,674 + 1,277 \log X$ . Slope pada persamaan regresi probit 1,277 dengan nilai t-rasio (slope/SE)  $1,277 / 0,213 = 6,00 > 1,96$ . Nilai t-rasio tersebut menunjukkan regresi yang berbeda nyata dan mengindikasikan perlakuan imidakloprid berpengaruh terhadap wereng cokelat.

LC<sub>50</sub> untuk insektisida etiprol adalah 0,024 ml/l dengan batas atas dan bawah yang lebar sebagai selang kepercayaan 0,001 dan 0,156 ml/l. Persamaan regresi antara probit mortalitas dan log<sub>10</sub> konsentrasi adalah  $Y = 0,151 + 0,707 \log X$ . Slope pada persamaan regresi probit adalah 0,707 dengan nilai t-rasio (slope/SE)  $0,707 / 0,232 = 3,05 > 1,96$ . Angka ini menunjukkan regresi yang berbeda nyata dan mengindikasikan perlakuan etiprol berpengaruh terhadap wereng cokelat populasi Juwiring.

LC<sub>50</sub> wereng cokelat terhadap insektisida tiametoksam, fironil, MIPC dan buprofezin berturut-turut adalah 0,004 g/l; 0,561 g/l; 0,456 ml/l dan 0,156 g/l. LC<sub>50</sub> untuk insektisida BPMC adalah 0,322 ml/l, sedangkan LC<sub>50</sub> insektisida yang tidak direkomendasi sipermethrin dan sihalothrin masing-masing 0,713 dan 0,198 ml/l (Tabel 5). Persamaan regresi buprofezin:  $Y = 1,155 + 1,431 \log X$ . Persamaan regresi tiametoksam:  $Y = 1,7737 + 0,732 \log X$ . Persamaan regresi fipronil:  $Y = 1,387 + 5,520 \log X$ . Persamaan regresi sipermethrin:  $Y = 0,582 + 3,959 \log X$ . Persamaan regresi sihalothrin:  $Y = 1,133 + 1,613 \log X$ . Persamaan regresi BPMC:  $Y = 1,941 + 3,947 \log X$ . Persamaan regresi MIPC:  $Y = 0,589 + 1,728 \log X$ . T-ratio semua inektisida tersebut berbeda nyata dengan nilai lebih besar dari 1,96.

Tingkat resistensi wereng cokelat populasi Juwiring diketahui dengan membandingkan LC<sub>50</sub> wereng cokelat

populasi Juwiring dengan LC<sub>50</sub> wereng cokelat biotipe 1 dari rumah kasa. Wereng cokelat populasi Juwiring memperlihatkan tingkat resistensi rendah dengan RR 5,5-7,8 terhadap insektisida imidakloprid, buprofezin, sipermethrin dan sihalothrim. Wereng cokelat populasi Juwiring menurun kerentanannya terhadap insektisida BPMC, etiprol dan fipronil dengan RR 3,3-4,6 kali, sedangkan terhadap tiametoksam, dan MIPC masih rentan dengan nilai RR 1,5-1,6 kali (Tabel 5).

Penggunaan insektisida imidakloprid, buprofezin, tiametoksam, dan sipermethrin terhadap wereng cokelat populasi Sukamandi tidak menguntungkan karena RR >4. Demikian juga penggunaan insektisida imidakloprid, etiprol, buprofezin, fipronil, sipermethrin, dan sihalothrin terhadap wereng cokelat populasi Juwiring, tidak menguntungkan karena nilai RR >4. Dampak resistensi hama terhadap insektisida adalah a) hama menjadi kebal, karena insektisida dengan dosis rekomendasi tidak mampu mengendalikan, b) penggunaan insektisida pada dosis anjuran akan menimbulkan ledakan hama, c) dosis insektisida untuk pengendalian hama harus ditingkatkan dari dosis anjuran sesuai dengan tingkat resistensinya, dan d) timbul pencemaran karena penggunaan insektisida yang berlebihan akibat dosis yang meningkat.

Resistensi insektisida dapat terjadi, terutama karena disalahgunakan atau penggunaan yang berlebihan. Di lapangan dapat terjadi resistensi silang pada saat serangga hama sudah resisten terhadap satu insektisida yang memberikan resistensi terhadap insektisida lain yang baru digunakan. Serangga dalam proses resistensinya terhadap insektisida melalui berbagai cara, baik pengaruh luar maupun pengaruh dari dalam (IRAC, resistensi <http://www.irac-online.org/about/mekanisme>).

Resistensi metabolik (*metabolic resistance*) merupakan resistensi serangga yang dapat mendetoksifikasi atau menghancurkan toksin lebih cepat daripada serangga rentan atau serangga cepat menghindar dari molekul beracun. Resistensi metabolik adalah mekanisme yang paling umum dan merupakan tantangan besar. Serangga menggunakan sistem enzim untuk memecah insektisida. Strain yang resisten memiliki tingkat enzim yang efisien, karena kemungkinan sistem enzim memiliki spektrum yang luas untuk menurunkan kinerja insektisida yang berbeda. Puinean *et al.* (2010) melaporkan peningkatan kinerja enzim P450 monooxygenase lima kali lipat lebih tinggi, berturut-turut 360 dan 292 pmol/30 menit/mg protein pada wereng cokelat strain tahan CHN-2 (China) dan IND-11 (India), dibandingkan dengan 62 pmol/30 menit/mg untuk wereng cokelat yang rentan diberi imidakloprid. Berdasarkan hasil penelitian tersebut maka enzim P450 (CYP) mampu menonaktifkan insektisida. Liu *et al.* (2003) juga melaporkan P450-monooxygenase menjadi factor kunci detoksifikasi imidakloprid dan perkembangan resistensi wereng cokelat.

Di lain pihak, resistensi situs-target terjadi secara genetik dengan memodifikasi kinerja insektisida untuk mencegah insektisida berinteraksi di situs targetnya, sehingga mengurangi atau menghilangkan pengaruh insektisida. Setiap insektisida memiliki situs target yang berbeda, imidakloprid menyerang saraf dan otot pada sistem syarat khusus pada *nicotinic acetylcholine receptor* (nAChR) yang menyebabkan hiperexcitasi (Liu *et al.* 2005). Insektisida fipronil menyerang saraf dan otot untuk memblokir saluran klorida aktivasi gamma-aminobutyric acid (GABA) yang menyebabkan hiperexcitasi dan kejang-kejang (Delpech *et al.* 2005).

Resistensi penetrasi adalah kerja serangga tahan menyerap toksin lebih lambat dari serangga rentan. Resistensi penetrasi terjadi pada saat kutikula luar serangga mengembangkan hambatan yang dapat memperlambat penyerapan bahan kimia ke dalam tubuhnya. Hal ini dapat melindungi serangga dari berbagai insektisida. Resistensi penetrasi sering terjadi bersama dengan bentuk resistensi lainnya dan mengurangi penetrasi mengintensifkan dampak yang timbul dari mekanisme lainnya.

Resistensi perilaku merupakan kinerja serangga tahan yang dapat mendeteksi atau mengenali bahaya dan menghindar dari racun. Mekanisme resistensi terjadi pada beberapa jenis insektisida, termasuk organoklorin, organofosfat, karbamat dan piretroid. Serangga mungkin hanya berhenti makan jika menemukan insektisida tertentu, atau meninggalkan daerah di mana penyemprotan terjadi. Misalnya, hama dapat pindah ke

bagian bawah daun yang disemprot, bergerak ke dalam kanopi tanaman atau terbang dari daerah sasaran.

Resistensi wereng cokelat populasi Sukamandi dan Juwiring terhadap insektisida berbeda satu sama lainnya. Wereng cokelat populasi Sukamandi agak tahan terhadap imidakloprid, sedangkan wereng cokelat populasi Juwiring bereaksi resisten rendah terhadap insektisida imidakloprid. Wereng cokelat populasi Sukamandi menurun kerentanannya terhadap teametoksam, sedangkan wereng cokelat populasi Juwiring masih rentan terhadap teametoksam. Wereng cokelat populasi Sukamandi dan Juwiring agak tahan terhadap Buprofezin. Di Jawa, resistensi wereng cokelat populasi Sukamandi dan Juwiring berbeda, hal yang sama terjadi di India bahwa resistensi wereng cokelat di Karnataka (Gangavati, Kathalagere, Kollegala, Soraba and Mandya) berbeda satu sama lainnya (Basanth *et al.* 2013). Perbedaan resistensi wereng cokelat terhadap satu insektisida bukan hanya antardaerah, namun juga antarnegara China, India, Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam (Gorman *et al.* 2008)

Secara umum populasi wereng cokelat di satu daerah lebih rentan terhadap insektisida dibandingkan dengan daerah lain. Bahkan populasi wereng cokelat tahan terhadap beberapa insektisida generasi tua, namun resistensinya rendah terhadap insektisida generasi baru. Resistensi wereng cokelat di China terhadap tiametoksam dan dinotefuran sangat rendah, tetapi populasi wereng cokelat tersebut tahan terhadap imidakloprid. Hal ini disebabkan karena tiametoksam tidak sering digunakan petani dan juga tidak terjadi resistensi silang dari imidakloprid (Wen *et al.* 2009). Beberapa laporan menyatakan strain tahan yang terseleksi dengan imidakloprid menunjukkan resistensi silang yang nyata terhadap imidaklotiz, tiakloprid, dan asetamiprid, dan sedikit resistensi silang dengan dinotefuran dan tiametoksam, namun tidak ada resistensi silang dengan nitenpyram, buprofezin dan fipronil (Wang *et al.* 2009). Matsumura *et al.* (2008) melaporkan wereng cokelat di Fujian, China, memberikan LD<sub>50</sub> terhadap imidacloprid 11,0 µg/g, sedangkan LD<sub>50</sub> untuk BPMC, fipronil, dan tiametoksam masing-masing 14,6; 0,05 dan 1,33 µg/g. Meskipun LD<sub>50</sub> untuk tiametoksam kecil, namun reaksi wereng cokelat terindikasi resistensi silang antara imidakloprid dan tiametoksam.

Pada tahun 2006, kerentanan wereng cokelat dari Ha Tay, Vietnam, terhadap imidakloprid dengan LD<sub>50</sub> = 9,2 µg/g, sedangkan LD<sub>50</sub> untuk BPMC, fipronil, dan tiametoksam masing-masing adalah 17,4; 0,13 dan 1,52 µg/g (Matsumura *et al.* 2008). Pada tahun 2007, kerentanan wereng cokelat dari Hanoi, Vietnam, terhadap imidakloprid dengan LD<sub>50</sub> = 12,3 µg/g. Hal ini

menunjukkan peningkatan resistensi wereng cokelat di Ha Tay pada 2006 dan Hanoi pada 2007 berturut-turut 102 dan 137 kali lipat dibanding base line tahun sebelumnya. Rasio resistensi imidakloprid di India rendah hanya 0,53-13,50 kali lipat, asepate 1,34-5,32 kali lipat, fipronil 1,13-4,06 kali lipat, tiametoksam 1,01-2,19 kali lipat, clothianidin 1,92-4,86 kali lipat, dinotefuran 0,82-2,22 kali lipat, buprofezin 1,06-5,43 kali lipat, karbofuran 0,41-2,17 kali lipat, dan klorpirifos 1,13-16,82 kali lipat (Basanth *et al.* 2013).

Secara keseluruhan, wereng cokelat di Jepang, China, Taiwan dan Vietnam memperlihatkan perbedaan LD<sub>50</sub> terhadap imidakloprid, berkisar antara 4,3-24,2 µg/g, sedangkan di Filipina berkisar antara 0,18-0,35 µg/g (Matsumura *et al.* 2008). Resistensi wereng cokelat terhadap imidakloprid tidak berkembang di Filipina, karena belum terjadi ledakan wereng cokelat dan imidakloprid belum umum digunakan di Filipina. Perkembangan resistensi wereng cokelat terhadap imidakloprid di China terus berlangsung sebagaimana yang dilaporkan di Tongzhou, Provinsi Jiangsu, China, yaitu 625 kali pada tahun 2006 dibanding tahun 1996 (Wang *et al.* 2008).

Beredarnya imidakloprid di China menyebabkan tergesernya posisi buprofezin yang dominan dipakai, sampai akhirnya buprofezin tidak digunakan lagi untuk mengendalikan hama wereng. Imidakloprid kemudian memainkan peran utama dalam mengendalikan wereng sampai tahun 2005, karena terjadi resistensi yang menyebabkan kegagalan pengendalian. Resistensi wereng cokelat terhadap imidakloprid memaksa perubahan penggunaan insektisida dengan merekomendasikan buprofezin, klorpirifos, tiametoksam, dan fipronil (Wang *et al.* 2008). Kemudian beredar pymetrozine yang mengambil posisi terdepan dalam pengendalian wereng cokelat.

Wereng cokelat populasi Sukamandi maupun Juwiring belum memperlihatkan resistensi terhadap insektisida Sihalotrin dan BPMC. Walaupun sudah lama beredar, insektisida ini tidak efektif mengendalikan wereng cokelat. Wereng cokelat di Delta Godavari, India, tetap rentan terhadap fenil pyrazole (fipronil dan etiprol), organofosfat (acephate dan monokrotofos), namun memperlihatkan resistensi rendah sampai sedang terhadap BPMC dan karbamat (Jhansi *et al.* 2010). Di lain pihak, wereng cokelat di Delta Godavari memperlihatkan peningkatan ketahanan terhadap neonicotinoid dengan nilai RR 64,9; 17,9 dan 13,2 berturut-turut untuk imidakloprid, tiametoksam, dan clothianidin. Resistensi wereng cokelat terhadap imidakloprid dapat berubah antargenerasi, dengan rasio resistensi terhadap imidakloprid menurun tajam dari 359,94 kali lipat pada F1 menjadi 6,50 kali lipat pada F14

dibandingkan dengan strain rentan, dan rasio resistensi terhadap klorpirifos adalah dari 9,90 kali lipat pada F1 menjadi 5,94 kali lipat pada F14 (Yajun *et al.* 2014).

Menurut Cheng *et al.* (2012), wereng cokelat mudah mematahkan efektivitas insektisida karena memiliki 225 gen dengan ekspresi berbeda, 117 berfungsi untuk meningkatkan dan 108 berfungsi untuk melemahkan ketahanan. Gen pada wereng cokelat yang teridentifikasi mempunyai fungsi oksidasi-reduksi, pengaturan proses dalam sel, tanggap pada tekanan, aktivitas pembawa elektron, proses metabolisme, pengangkutan, signal transducer, dan perkembangan organisme. Resistensi pada imago wereng cokelat betina dapat terinduksi dari nimfa yang diberi insektisida. Analisis qPCR memperjelas triazophos meningkatkan ekspresi enam gen kandidat pada nimfa instar ke-5 yang diaplikasi insektisida pada hari ke-3. Gen tersebut dengan kode *N. lugens* vitellogenin, bystin, protein resistensi multidrug (*multidrug resistance protein* = MRP), purin fosforilase nucleoside (*purine nucleoside phosphorylase* = PNP), Pirolina-5-karboksilat reduktase (*pyrroline-5-carboxylate reductase* = P5CR) dan carboxylesterase (Bao *et al.* 2010). Analisis transkriptome pada usus wereng cokelat diperoleh lebih dari 26 juta sekuen yang kemudian dengan *SOAP de novo software* dikluster menjadi 53.553 unigenes dengan ukuran rata-rata 388 bp. Banyak gen baru terdeteksi yang berhubungan dengan metabolisme di usus, termasuk 33 gen-pencernaan, 25 gen responsif kekebalan tubuh, dan 27 gen-detoksifikasi (Bao *et al.* 2012). Bahkan dalam usus serangga terdapat bakteri simbiosis yang dapat mendegradasi insektisida. Pada hama kedelai, *Riptortus pedestris*, terdapat bakteri simbiosis genus *Burkholderia* yang dibutuhkan serangga untuk mendegradasi insektisida (Kikuchi *et al.* 2011).

Banyaknya gen wereng cokelat yang dapat melemahkan insektisida, maka diperlukan insektisida generasi baru seperti halnya dinotefuran yang efektif mengendalikan hama wereng cokelat sepanjang musim daripada asepate dan neo-nicotenoids (Ghosh *et al.* 2014). Manajemen penggunaan insektisida diperlukan karena keturunan wereng cokelat dapat terinduksi induknya yang tahan terhadap insektisida.

## KESIMPULAN

Wereng cokelat populasi Sukamandi agak resisten (*moderate resistance*) terhadap insektisida imidakloprid dan sipermethrin, disusul resistensi rendah (*low resistance*) terhadap insektisida buprofezin, tetapi kerentanannya menurun (*decreased susceptibility*) terhadap insektisida fipronil, tiametoksam dan sihalotrin, sedangkan terhadap etiprol, BPMC dan MIPC masih rentan. Wereng cokelat populasi Juwiring



memperlihatkan tingkat resistensi rendah terhadap insektisida imidakloprid, buprofezin, sipermethrin, dan sihalothrin. Kerentanan wereng cokelat populasi Juwiring menurun terhadap insektisida BPMC, etiprol, dan fipronil, sedangkan terhadap tiametoksam dan MIPC masih rentan.

Penggunaan insektisida imidakloprid, buprofezin, tiametoksam, dan sipermethrin dalam pengendalian wereng cokelat populasi Sukamandi tidak menguntungkan karena nilai RR >4. Penggunaan insektisida imidakloprid, etiprol, buprofezin, fipronil, sipermethrin, dan sihalothrin untuk mengendalikan wereng cokelat populasi Juwiring juga tidak menguntungkan karena nilai RR >4. Penggunaan insektisida untuk pengendalian wereng cokelat harus disesuaikan dengan nilai resistensi, karena dosis rekomendasi beberapa insektisida sudah tidak ampuh sehingga terjadi pemborosan dan perusakan lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baehaki, S.E. 2012. Perkembangan biotipe hama wereng cokelat pada tanaman padi. *IPTEK Tanaman Pangan* 7(1):8-17.
- Bao, Y.Y., B.L. Li, Z.B. Liu, J. Xue, Z.R. Zhu, J.A. Cheng, and C.X. Zhang. 2010. Triazophos up-regulated gene expression in the female brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Journal of Insect Physiology* 56:1087–1094.
- Bao, Y.Y., Y. Wang, W.J. Wu, D. Zhao, J. Xue, B.Q. Zhang, Z.C. Shen, and C.X. Zhang. 2012. De novo intestine-specific transcriptome of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* revealed potential functions in digestion, detoxification and immune response. *Genomics* 99:256-264.
- Basanth, Y.S., V.T. Sannaveerappanavar, and D.K.S. Gowda. 2013. Susceptibility of different populations of *Nilaparvata lugens* from major rice growing areas of Karnataka, India to different groups of insecticides. *Rice Science* 20(5): 371-378. DOI: 10.1016/S1672-6308(13)60147-X.
- Busvine, J.R. 2011. A critical review of techniques for testing insecticides. Commonwealth Agricultural Bureau. Edisi Digital. 345p.
- Cheng, Y., Z.P. Shi, L.B. Jiang, L.Q. Ge, J.C. Wua, and G.C. Jah. 2012. Possible connection between imidacloprid-induced changes in rice gene transcription profiles and susceptibility to the brown plant hopper *Nilaparvata lugens* Stål (Hemiptera: Delphacidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology* 102(3):213-219.
- Delpech, R.V., K. Matsuda, B.M. Sattle, J.J. Rauh, and D.B. Sattelle. 2005. Ion channel: molecular targets of neuroactive insecticides. *Invert. Neurosci.* 5:119-133.
- Ghosh, A., A. Samanta, and M.L. Chatterjee. 2014. Dinotefuran: A third generation neonicotinoid insecticide for management of rice brown planthopper. *African Journal of Agricultural Research* 9(8):750-754. DOI: 10.5897/AJAR2013.7054.
- Gorman, K., Z. Liu, I. Denholm, K.U. Brügggen, and R. Nauen. 2008. Top of FormBottom of FormNeonicotinoid resistance in rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Pest Manag. Sci.* 64(11):1122-1125.
- IRAC. 2008. Introduction and overview. IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) susceptibility test methods series version: 2. <http://www.ircac-online.org>. 2p (diakses 2012).
- James, D.G. and T.S. Price. 2002. Fecundity in twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) is increased by direct and systemic exposure to imidacloprid. *J. Econ. Entomol* 95(4):729-32.
- Jhansi, L.P., N.V. Krishnaiah, G. Katti, I.C. Pasalu, and B.K. Vasantha. 2010. Development of insecticide resistance in rice brown planthopper and whitebacked planthopper in Godavari Delta of Andhra Pradesh. *Indian Journal of Plant Protection* 38(1):35-40.
- Kikuchi, Y., T. Hosokawa, and T. Fukatsu. 2011. Specific developmental window for establishment of an insect-microbe gut symbiosis. *Appl. Environ. Microbiol.* 77:4075-4081.
- Lai, T., J. Li, and J. Su. 2011. Monitoring of beet army-worm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to chlorantraniliprole in China. *Pestic. Biochem. Physiol.* 101: 198-205.
- Liu, Z., H. Zhaojun, W. Yinchang, Z. Lingchun, Z. Hongwei, and L. Chengjun. 2003. Selection for imidacloprid resistance in *Nilaparvata lugens*: cross-resistance patterns and possible mechanisms. *Pest Manag. Sci.* 59:1355-1359.
- Liu, Z., M.S. Williamson, S.J. Lansdell, I. Denholm, Z. Han, and N.S. Millar. 2005. A nicotinic acetylcholine receptor mutation conferring target-site resistance to imidacloprid in *Nilaparvata lugens* (brown planthopper). *PNAS* 102:8420-8425.
- Matsumura, M., H. Takeuchi, M. Satoh, S.S. Morimura, A. Otuka, T. Watanabe, and D.V. Thanh. 2008. Species-specific insecticide resistance to imidacloprid and fipronil in the rice planthoppers *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* in East and South-east Asia. *Pest Manag. Sci.* 64:1115-1121.
- Muller, F. 2000. Agrochemicals: composition, production, toxicology, applications. Wiley-VCH.1031p.
- Puinean, A.M., I. Denholm, N.S. Millar, R. Nauen, and M.S. Williamson. 2010. Characterisation of imidacloprid resistance mechanisms in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Hemiptera: Delphacidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology* 97:129-13.
- Yajun, Y., D. Biqin, X.U. Hongxing, Z. Xusong, K. L. Heong, and L. Zhongxian. 2014. Susceptibility to insecticides and ecological fitness in resistant rice varieties of field *Nilaparvata lugens* Stål population free from insecticides in laboratory. *Rice Science* 21(3): 181-186. DOI: 10.1016/S1672-6308(13)60181-X.
- Wang, Y.H., C.F. Gao, Y.H. Zhu, J. Chen, W.H. Li, Y.L. Zhuang, D.J. Dai, and W.J. Zhou. 2008. Imidacloprid susceptibility survey and selection risk assessment in field population of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *J. Econ. Entomol.* 101(2):515-522.
- Wang, Y.H., S.G. Wu, Y.C. Zhu, J. Chen, F.Y. Liu, X.P. Zhao, Q. Wang, Z. Li, X.P. Bo, and J.L. Shen. 2009. Dynamics of imidacloprid resistance and cross-resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Entom. Exp. Appl.* 131:20-29.
- Wen, Y.C., Z.W. Liu, H.B. Bao, and Z.J. Han. 2009. Imidacloprid resistance and its mechanisms in field populations of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) in China. *Pest Biochem. Physiol.* 94:36-42.

