

Laju Pertumbuhan Intrinsik dan Neraca Hidup Wereng Cokelat pada Tanaman Padi Akibat Perubahan Iklim Global

Intrinsic Growth Rate of Natural Increases of Brown Planthopper on Rice Crop under Global Climate Changes

Baehaki.S.E¹, Eko Hari Iswanto², dan Dede Munawar²

¹Pupuk Indonesia Holding Company
Jl. Kemanggisan, Jakarta, Indonesia
E-mail: baehakise@yahoo.co.id

²Balai Besar Penelitian Tanaman Padi
Jl. Raya 9, Sukamandi, Subang, Jawa Barat, Indonesia

Naskah diterima 20 Februari 2015, direvisi 29 September 2015, disetujui 9 Oktober 2015

ABSTRACT

Study on the intrinsic growth rate of natural increases of brown planthopper (BPH) was carried out in Sukamandi, Subang, West Java in 2012 at the screen house of Indonesian Center for Rice Research using host of two rice varieties, Pelita I/1 and Inpari 13. The study evaluated the effects of global climate changes on the development of brown planthopper after three decades since the first study in 1984. Results showed that the development of brown planthopper in Sukamandi, Subang field after a period of three decades was very different from the brown planthopper in 1984. The intrinsic rate of natural increase of BPH on Pelita I/1 was $r_m = 0.2285$ which was 2.22 fold in three decades and on Inpari 13 variety was $r_m = 0.2209$ or 2.14 folds compared to that in 1984. Generation time of BPH on Pelita I/1 and on Inpari 13 was shorter by 0.81-0.83 times. The index of BPH survival on Pelita I/1 reached 5.2299 times and the index of the BPH survival on Inpari 13 reached 5.8881 times, compared to that of three decades ago. BPH development on Pelita I/1 showed that the ratio of females: males was 74%: 26%. In Inpari 13 variety showed the ratio females: males was 70.8%: 29.2%. Based on the description, the intrinsic growth rate of natural increases of brown planthopper had changed over three decades. The implications was that the population dynamics of brown planthopper had changed toward higher fitness as affected by global climate change.

Keywords: rice, BPH, intrinsic rate, climate change.

ABSTRAK

Penelitian laju pertumbuhan intrinsik dan neraca hidup wereng cokelat dilaksanakan di rumah kaca Balai Besar Penelitian Tanaman Padi pada tahun 2012 menggunakan dua varietas padi, yaitu Pelita I/1 dan Inpari 13. Penelitian bertujuan mengevaluasi pengaruh iklim global terhadap perkembangan wereng cokelat di Sukamandi, Subang, Jawa Barat, setelah tiga dasawarsa sejak penelitian pertama tahun 1984. Hasil penelitian menunjukkan perkembangan wereng cokelat di Sukamandi pada tahun 2012 sangat berbeda dengan tahun 1984. Laju pertumbuhan intrinsik wereng cokelat pada varietas Pelita I/1 adalah $r_m = 0,2285$ atau 2,22 kali lipat dan

pada Inpari 13 adalah $r_m = 0,2209$ atau 2,14 kali lipat dalam tiga dasawarsa. Lama waktu satu generasi pada Pelita I/1 dan Inpari 13 lebih singkat 0,81-0,83 kali lipat. Indeks daya bertahan hidup wereng cokelat pada Pelita I/1 mencapai 5,3 kali lipat dan indeks daya bertahan hidup pada Inpari 13 mencapai 5,8 kali lipat dibanding tiga dasawarsa yang lalu. Pada varietas Pelita I/1 tahun 2012 nisbah wereng betina dan wereng jantan adalah 74%: 26%, sedangkan pada varietas Inpari 13 adalah 70,8%: 29,2%. Berdasarkan laju pertumbuhan intrinsik dan neraca hidup wereng cokelat populasi lapang di Sukamandi telah berubah selama tiga dasawarsa. Implikasi dari penelitian ini, dinamika populasi wereng cokelat telah berubah mengarah kepada perkembangan yang lebih tinggi dan dipengaruhi oleh perubahan iklim global.

Kata kunci: padi, wereng cokelat, laju intrinsik, neraca hidup, perubahan iklim.

PENDAHULUAN

Wereng cokelat, *Nilaparvata lugens* (Stal) merupakan hama global yang merusak tanaman padi di Indonesia, China, Vietnam, Thailand, India, Pakistan, Malaysia, Filipina, Jepang, dan Korea (Baehaki dan Mejaya 2014). Wereng cokelat secara bertahap muncul dengan berbagai biotipe, mulai dari biotipe 1, 2, 3, dan terakhir biotipe 4 yang serangannya dinilai cukup ganas di Asia Tenggara dan Asia Selatan (Baehaki *et al.* 2011). Serangan wereng cokelat di Indonesia pada dasawarsa 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010 berturut-turut adalah 3.093.593, 458.038, 312.610, dan 351.748 ha. Serangan wereng cokelat pada tahun 2011 dan 2012 masing-masing 223.606 dan 312.174 ha (Ditlin 2013).

Terjadinya ledakan wereng cokelat disebabkan oleh berbagai faktor yang mempengaruhi perkembangan populasi, di antaranya penggunaan varietas rentan atau varietas yang sudah patah ketahanannya, resistensi dan resurgensi wereng cokelat terhadap insektisida akibat

pemakaian insektisida yang tidak rasional (Baehaki 2012), pemakaian pupuk nitrogen yang tinggi (Lu *et al.* 2005), dan diperkirakan akibat perubahan iklim global, di antaranya peningkatan suhu. Perubahan iklim memiliki dampak yang kuat pada sistem biologi melalui perubahan populasi spesies, komunitas dan proses ekosistem, yang berakibat terhadap terganggunya kelestarian ekosistem masa depan (Parmesan and Yohe 2003).

Perubahan iklim global tidak lepas dari tersebarnya senyawa kimia di atmosfer. Bumi memantulkan kembali energi yang telah diserapnya dalam bentuk radiasi gelombang panjang. Hal ini terjadi untuk memelihara suhu bumi relatif hangat dengan rata-rata 14°C. Sebagian dari radiasi gelombang panjang ini diserap oleh uap dan gas di atmosfer seperti uap air (H₂O), karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitro-oksida (NO₂), dan ozone (O₃) (Valiant 2014). Uap air dan gas-gas tersebut melepaskan kembali radiasi yang diserapnya dalam bentuk panas sehingga terjadi efek rumah kaca. IPCC (2007) melaporkan kecenderungan 10 tahun terakhir (1906-2005) menunjukkan kenaikan suhu udara dunia rata-rata 0,74°C ± 0,18°C dengan kisaran 0,56°C sampai 0,92°C. Kecenderungan linier dari kenaikan ini dalam 50 tahun terakhir bahkan mencapai 0,13°C per dekade, hampir dua kali lipat dari kecenderungan kenaikan 100 tahun terakhir.

Diduga kecepatan perkembangan populasi wereng cokelat di Sukamandi didorong oleh perubahan suhu global. Data awal perkembangan wereng cokelat populasi Sukamandi telah dipublikasi (Baehaki 1984). Data tersebut akan disandingkan dengan laju pertumbuhan intrinsik setelah tiga dasawarsa sejak tahun 1984. Laju pertumbuhan intrinsik sendiri murni akibat perkembangan wereng cokelat dengan makanan tanpa batas dan tanpa pengaruh musuh alami. Penelitian bertujuan memperoleh informasi perubahan laju pertumbuhan intrinsik wereng cokelat akibat perubahan iklim.

BAHAN DAN METODE

Laju Pertumbuhan Intrinsik Wereng Cokelat

Penelitian laju pertumbuhan intrinsik dilaksanakan di rumah kaca Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Sukamandi, pada musim kemarau (MK) 2012 dengan materi wereng cokelat dari lapangan Sukamandi, Subang, Jawa Barat. Wereng cokelat dari lapangan dipelihara di laboratorium selama 1-3 generasi untuk mendapatkan wereng betina bersayap kerdil (brakhiptera).

Benih padi yang digunakan dari varietas Pelita I/1 dan Inpari 13, disemai dalam bak plastik kecil. Bibit padi umur 20 hari setelah semai dari masing-masing varietas ditanam dalam pot berdiameter 13,5 cm, satu tanaman/pot. Pot dikurung dengan kurungan plastik silinder berdiameter 11,5 cm dan tinggi 70 cm. Bagian atas kurungan ditutup kain kasa dan di pinggir kiri-kanan kurungan ada jendela dari kain kasa.

Tiap satu varietas padi ditanam pada 200 pot yang dibagi menjadi 20 set tanaman. Tiap set tanaman terdiri atas 10 pot dan 1 pot mewakili satu ulangan. Pada masing-masing tanaman dalam pot, mulai umur 3 minggu setelah tanam dinfestasikan sepasang wereng cokelat bersayap kerdil supaya bertelur. Setiap hari pasangan wereng dipindahkan, ke set tanaman berikutnya dan seterusnya sampai wereng betinanya mati. Semua set tanaman yang telah dipindahkan werengnya terus dipelihara untuk pengamatan masa nimfa, stadia imago, serta jumlah jantan dan betina.

Data pengamatan digunakan untuk analisis laju reproduksi kotor (*gross reproductive rate* = G_r), laju reproduksi bersih (*net reproductive rate* = R₀), rata-rata waktu satu generasi (*generation time* = T), laju pertumbuhan intrinsik (*intrinsic rate of natural increase* = r_m), waktu penggandaan (*doubling time* = DT), laju pertumbuhan terbatas (*finite rate of increase* = λ), angka kelahiran (*birth rate* = b), angka kematian (*death rate* = d) dengan rumus yang ditampilkan Win *et al.* (2011a) sebagai berikut:

Notasi	Uraian
x	: Kelas umur dalam hari
l _x	: Persentase wereng hidup pada umur ke-t
m _x	: Jumlah keturunan yang dihasilkan oleh seekor wereng betina pada umur x dan x+1
L _x	: Jumlah keturunan wereng yang dihasilkan seekor wereng betina selama interval waktu x dan x+1 adalah l _x m _x
G _r	Laju reproduksi kotor, adalah jumlah m _x dengan persamaan G _r = Σm _x
R ₀	Laju reproduksi bersih, adalah jumlah l _x m _x dengan persamaan R ₀ = Σl _x m _x
T _c	Waktu satu generasi (hari) satu neraca hidup (cohort) didekati dengan formula T _c = Σxl _x m _x / Σl _x m _x
r _c	Kapasitas bawaan untuk pertumbuhan (<i>innate capacity for increase</i>), dihitung dengan rumus: r _c = ln R ₀ /T _c

r_m	Pertumbuhan populasi maksimum, yaitu laju pertumbuhan intrinsik yang paling tepat (r_m) dari r_c sebagai titik awal r_m dengan metode iterasi dari persamaan Euler's yaitu: $r_m = \Sigma e^{-mx} l_x m_x = 1$
T	Waktu satu generasi terkoreksi, $T = \ln R_0/r_m$
λ	Laju pertumbuhan terbatas adalah betina yang dilahirkan oleh seekor betina/hari dihitung dengan $\lambda = e^{rm}$
DT	Waktu penggandaan, adalah waktu yang dibutuhkan untuk menggandakan populasi
b	Laju kelahiran intrinsik dihitung dari $b = \beta / (\lambda - 1)$, sedangkan β dihitung dari $1/\beta = \Sigma l_x e^{-rm(x+1)}$
d	Laju kematian intrinsik dihitung dari $d = b - r_m$

Berdasarkan laju pertumbuhan intrinsik dapat dihitung laju pertumbuhan eksponensial wereng cokelat

$$N_t = N_0 e^{r_m t}$$

N_t = populasi pada waktu ke -t

N_0 = populasi awal

r_m = laju pertumbuhan intrinsik

t = waktu (hari)

e = bilangan dasar logaritma = 2,7183

Indeks kelahiran dan kematian wereng cokelat pada kurun waktu tiga dasawarsa dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Indeks angka kelahiran} = \frac{b_{tn}}{b_{to}} \times \frac{b_{tn}}{(b_{tn} + d_{tn})} = \frac{(b_{tn})^2}{b_{to} (b_{tn} + d_{tn})}$$

$$\text{Indeks angka kematian} = \frac{d_{tn}}{d_{to}} \times \frac{d_{tn}}{(b_{tn} + d_{tn})} = \frac{(d_{tn})^2}{d_{to} (b_{tn} + d_{tn})}$$

$$\text{Indeks daya bertahan hidup} = \frac{\text{Indeks angka kelahiran}}{\text{Indeks angka kematian}}$$

b_{tn} = angka kelahiran waktu ke-n (tahun 2012)

b_{to} = angka kelahiran waktu ke-nol (tahun 1984)

d_{tn} = angka kematian waktu ke-n (tahun 2012)

d_{to} = angka kematian waktu ke-nol (tahun 1984)

Pengaruh perubahan iklim terhadap laju pertumbuhan eksponensial dievaluasi dengan cara membandingkan laju pertumbuhan intrinsik tahun 1984 (Baehaki 1984) dengan laju pertumbuhan eksponensial yang didapat dari hasil penelitian pada 2012. Rancangan dan analisis tahun 1984 sama dengan tahun 2012, wereng berasal dari lokasi yang sama, tetapi titik pengambilan contohnya berbeda.

Neraca Hidup Wereng Cokelat

Pada percobaan ini mula-mula disediakan bibit padi Pelita I/1 dan Inpari 13. Setelah berumur 21 hari, setiap satu bibit dari masing-masing varietas dimasukkan ke dalam tabung reaksi berdiameter 2 cm. Perlakuan diulang 50 kali, satu tabung/ulangan. Kemudian ke dalam masing-masing tabung reaksi yang ada bibitnya dimasukkan satu nimfa wereng cokelat yang baru menetas dari laboratorium pada percobaan laju pertumbuhan intrinsik. Nimfa wereng dalam tabung terus dipelihara dan setiap hari bibit padi dalam tabung diganti dengan bibit yang umurnya relatif sama. Pengamatan pertumbuhan nimfa dilakukan terhadap masa ganti kulit, lama memasuki imago, dan terus diikuti sampai lama hidup masing-masing imago.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju Pertumbuhan Intrinsik Wereng Cokelat

Pada Varietas Pelita I/1

Laju kelangsungan hidup (l_x) dan laju keperidian (m_x) merupakan bagian terpenting untuk estimasi perkembangan serangga dalam lingkungan makanan yang tidak terbatas. Besaran l_x adalah persentase wereng hidup pada umur ke-t sedangkan m_x adalah jumlah keturunan betina yang dihasilkan oleh seekor wereng betina pada umur x dan x+1, sehingga besaran $l_x m_x$ adalah jumlah betina yang dihasilkan seekor wereng betina selama interval waktu x dan x+1. Pemeliharaan wereng cokelat bersayap kerdil asal lapangan Subang di rumah kasa pada varietas Pelita I/1 dan Inpari 13 dengan makanan tidak terbatas pada kondisi suhu pkl 7.00 adalah 24,1-30°C dengan kelembaban 62-99%, suhu pkl 12.00 adalah 33,1-38,6°C dengan kelembaban 41-64%, suhu pkl 16.00 adalah 31,8-35,6°C dengan kelembaban 47-68%.

Berdasarkan perkembangan wereng cokelat pada varietas Pelita I/1 tahun 2012, maka pada tiap generasi dari seekor betina bersayap kerdil rata-rata menghasilkan 178,1 ekor wereng betina pada generasi berikutnya. Nilai ini merupakan nilai reproduksi bersih $R_0 = \Sigma m_x l_x$ yang lebih rendah daripada nilai laju reproduksi kotor. Laju reproduksi kotor adalah $\Sigma m_x = 195,2$ ekor wereng betina yang dilahirkan dari seekor wereng betina kalau peluang hidupnya 100%. Oleh karena l_x pada golongan umur ke-x tidak 100%, maka jumlah wereng keturunan yang dilahirkan lebih kecil dibanding produksi telurnya, yaitu $G_r = 1,1 R_0$ (Tabel 1).

Neraca hidup satu generasi pada varietas Pelita I/1 tahun 2012 adalah $T_c = \Sigma l_x m_x / \Sigma l_x m_x = 25,1$ hari. Dengan

memperoleh nilai T_c dan R_0 dapat diduga nilai $r_c = \ln R_0 / T_c$ yaitu kapasitas bawaan untuk pertumbuhan adalah 0,2344 betina/betina/hari. Nilai r_c ini sebagai dugaan nilai r_m masih kasar sehingga perlu disempurnakan dengan persamaan $\sum e^{-r_m x} l_x m_x = 1$. Dengan sistem iterasi didapatkan nilai r_m yang sesungguhnya yaitu 0,2285 betina/betina/hari (Tabel 3). Dengan adanya nilai r_m , maka waktu satu generasi terkoreksi adalah $T = \ln R_0 / r_m = 22,68$ hari. Dengan nilai r_m juga dapat dihitung waktu penggandaan populasi wereng cokelat pada varietas Pelita I/1 adalah $DT = \ln 2 / r_m = 3,03$ hari.

Laju pertumbuhan intrinsik menunjukkan bahwa wereng cokelat pada tahun 2012 sangat berbeda dengan tahun 1984. Hal ini terbukti dari perkembangan satu generasi lebih singkat dan laju pertumbuhannya lebih tinggi 2,22 kali lipat (Tabel 3).

Dengan menggunakan nilai r_m , persamaan laju pertumbuhan populasi eksponensial wereng cokelat tahun 2012 yang dipelihara pada Pelita I/1 adalah:

$$N_t = N_0 e^{0,2285t}$$

- di mana: N_t = populasi pada waktu ke -t
- N_0 = populasi awal
- r_m = laju pertumbuhan intrinsik = 0,2285
- t = waktu (hari)
- e = bilangan dasar logaritma = 2,7183

Kurva eksponensial wereng cokelat pada varietas Pelita I/1 pada tahun 2012 adalah $N_t = N_0 e^{0,2285t}$ yang

menunjukkan kurva eksponensial pertumbuhan dengan makanan yang tidak terbatas. Berdasarkan persamaan di atas, maka pada tahun 2012 pertumbuhan wereng cokelat selama 70 hari dari satu ekor wereng betina menghasilkan keturunan sebanyak 9.030.398,6 ekor (Gambar 1). Di lain pihak, kurva eksponensial pertumbuhan wereng cokelat pada Pelita I/1 tahun 1984 adalah $N_t = N_0 e^{0,103t}$. Berdasarkan persamaan di atas, maka pada tahun 1984 pertumbuhan wereng cokelat selama 70 hari, satu ekor wereng betina dapat menghasilkan keturunan 1.353 ekor atau selama tiga bulan akan menghasilkan keturunan 10.615 ekor (Baehaki 1984). Nilai duga tahun 2012 menunjukkan kenaikan populasi wereng cokelat dalam tiga dasawarsa (1984-2012) sangat tinggi, mencapai 6674 kali lipat pada umur 70 hari.

Angka kelahiran wereng cokelat pada Pelita I/1 tahun 2012 adalah 2,03 kali lipat angka kelahiran tahun 1984. Angka kematian wereng cokelat pada Pelita I/1 pada tahun 2012 adalah 1,54 kali lipat angka kematian tahun 1984. Indeks angka kelahiran dengan menggunakan formula di atas mencapai 1,6235 dan indeks angka kematian 0,3104. Dari indeks kelahiran dan kematian didapatkan bahwa indeks daya bertahan hidup 5,2299 kali lipat pada tiga dasawarsa yang lalu. Hal ini menunjukkan daya bertahan hidup wereng cokelat pada Pelita I/1 tahun 2012 sangat tinggi.

Tabel 1. Neraca hidup parsial imago wereng cokelat asal Subang di Rumah Kasa pada varietas Pelita. BB Padi, Sukamandi. MK 2012.

Umur (x=hari)	l_x (%)	m_x (ekor betina)	$l_x m_x$ (ekor betina)	$x l_x m_x$
19,5	1	5,8	5,8	113,1
20,5	1	15,0	15,0	307,5
21,5	1	19,9	19,9	427,85
22,5	1	17,3	17,3	389,25
23,5	1	14,6	14,6	343,1
24,5	1	18,2	18,2	445,9
25,5	1	16,4	16,4	418,2
26,5	1	15,9	15,9	421,35
27,5	1	17,9	17,9	492,25
28,5	1	16,5	16,5	470,25
29,5	0,8	10,4	8,32	245,44
30,5	0,6	6,7	4,02	122,61
31,5	0,5	7,4	3,7	116,55
32,5	0,4	5,8	2,32	75,4
33,5	0,3	5,2	1,56	52,26
34,5	0,3	2,1	0,63	21,735
35,5	0,1	0,1	0,01	0,355
Total		195,2	178,1	4463,1

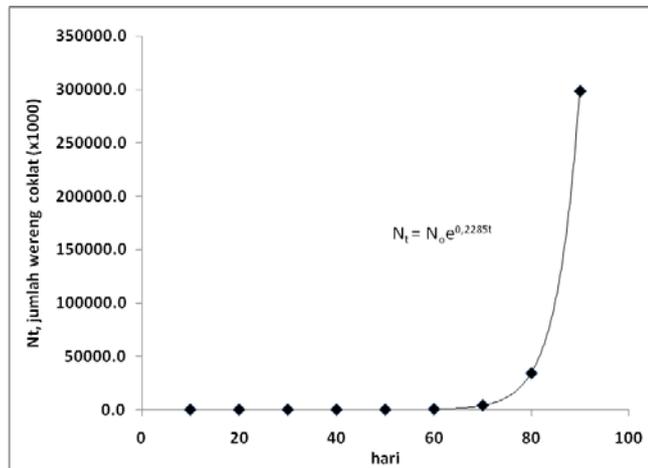
Tabel 2. Neraca hidup parsial imago wereng cokelat asal Subang di Rumah Kasa pada varietas Inpari13. BB Padi, Sukamandi. MK 2012.

Umur (x=hari)	l_x (%)	m_x (ekor betina)	$l_x m_x$ (ekor betina)	$x l_x m_x$
19,5	1	3,4	3,4	66,3
20,5	1	10,7	10,7	219,4
21,5	1	14,7	14,7	316,1
22,5	1	11,8	11,8	265,5
23,5	1	16,3	16,3	383,1
24,5	1	12,8	12,8	313,6
25,5	1	9,8	9,8	249,9
26,5	1	15,1	15,1	400,2
27,5	1	10,5	10,5	288,8
28,5	1	11,5	11,5	327,8
29,5	0,9	7,8	7,0	207,1
30,5	0,7	6,0	4,2	128,1
31,5	0,7	7,1	5,0	156,6
32,5	0,6	8,0	4,8	156,0
33,5	0,5	5,7	2,9	95,5
34,5	0,5	3,8	1,9	65,6
35,5	0,4	1,9	0,8	27,0
36,5	0,3	3,1	0,9	33,9
37,5	0,2	1,9	0,4	8,5
38,5	0,2	1,4	0,3	10,8
Total		163,3	144,7	3719,4

Tabel 3. Sifat populasi wereng cokelat pada Pelita I/1. BB Padi Sukamandi tahun 1984 dan 2012.

Simbol	Uraian	Nilai besaran biologi wereng cokelat		Evolusi tahun 2012 kelipatan tahun 1984
		Pelita I/1 tahun 2012	Pelita I/1 tahun 1984	
G_r	Laju reproduksi kotor	195,2	77,01	2,53
R_0	Laju reproduksi bersih	178,1	21,76	8,18
T_c	Waktu satu generasi (hari) satu neraca hidup (cohort)	25,1	31,15	0,81
r_m	Laju pertumbuhan intrinsik	0,2285	0,103	2,22
DT	Waktu penggandaan	3,03	6,73	2,22
λ	Laju pertumbuhan terbatas	1,257	1,11	1,13
b	Angka kelahiran	0,305	0,15	2,03
d	Angka kematian	0,077	0,05	1,54

* Tahun 1984: suhu 24-33,5°C dengan kelembaban 60-99%
 Tahun 2012: suhu pkl 7.00 adalah 24,1-30 °C dengan kelembaban 62-99%
 suhu pkl 12.00 adalah 33,1-38,6 °C dengan kelembaban 41-64%
 suhu pkl 16.00 adalah 31,8-35,6 °C dengan kelembaban 47-68%



Gambar 1. Laju pertumbuhan wereng cokelat pada pada Pelita I/1, suhu 24,1-38,6°C, kelembaban 41-99%. Sukamandi, rumah kasa, 2012.

Pada Varietas Inpari 13

Berdasarkan perkembangan wereng cokelat pada varietas Inpari 13 tahun 2012 didapatkan bahwa tiap generasi seekor betina bersayap kerdil rata-rata menghasilkan 144,7 ekor wereng betina pada generasi berikutnya. Nilai ini merupakan nilai reproduksi bersih $R_0 = \sum l_x m_x$ yang lebih rendah daripada nilai laju reproduksi kotor. Laju reproduksi kotor adalah $\sum m_x = 163,3$ ekor wereng betina yang dilahirkan dari seekor wereng betina kalau peluang hidupnya 100%. Oleh karena l_x pada golongan umur ke-x tidak 100%, maka jumlah wereng keturunan yang dilahirkan lebih kecil dibanding produksi telurnya, yaitu $G_r = 1,13 R_0$ (Tabel 2).

Neraca hidup satu generasi pada varietas Inpari 13 tahun 2012 adalah $T_c = \sum x l_x m_x / \sum l_x m_x = 25,7$ hari. Dengan

memperoleh nilai T_c dan R_0 dapat diduga nilai $r_c = \ln R_0 / T_c$, yaitu kapasitas bawaan untuk pertumbuhan adalah 0,1935 betina/betina/hari. Nilai r_c ini sebagai dugaan nilai r_m perlu disempurnakan dengan persamaan $\sum e^{-r_m x} l_x m_x = 1$, maka dengan sistem iterasi didapatkan nilai r_m yang sesungguhnya, yaitu 0,2209 betina/betina/hari (Tabel 4). Dengan adanya nilai r_m , maka waktu satu generasi terkoreksi adalah $T = \ln R_0 / r_m = 22,52$ hari. Dengan nilai r_m maka waktu penggandaan populasi wereng cokelat pada varietas Inpari 13 adalah $DT = \ln 2 / r_m = 3,14$ hari.

Perkembangan wereng cokelat pada Inpari 13 berdasar laju pertumbuhan intrinsik pada tahun 2012 sangat berbeda dengan tahun 1984. Hal ini terbukti dari perkembangan waktu satu generasi lebih singkat dan laju pertumbuhannya lebih tinggi 2,14 kali lipat (Tabel 4).

Dengan menggunakan nilai r_m tersebut, persamaan laju pertumbuhan populasi eksponensial wereng cokelat tahun 2012 yang dipelihara pada Inpari 13 adalah:

$$N_t = N_0 e^{0,2209t}$$

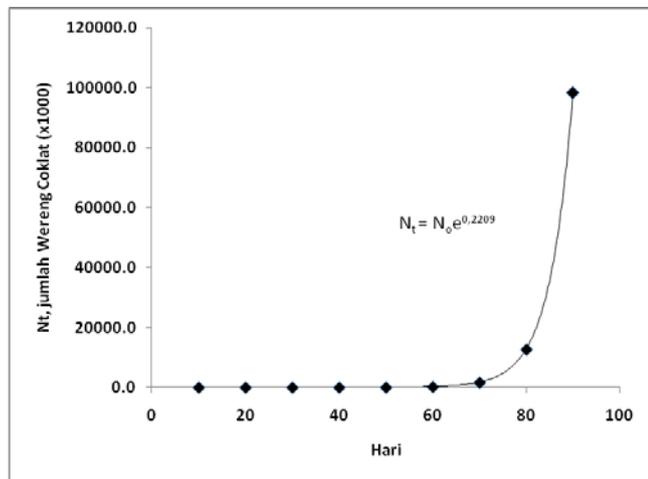
- di mana: N_t = populasi pada waktu ke -t
- N_0 = populasi awal
- r_m = laju pertumbuhan intrinsik = 0,2209
- t = waktu (hari)
- e = bilangan dasar logaritma = 2,7183

Kurva eksponensial wereng cokelat varietas Inpari 13 pada tahun 2012 adalah $N_t = N_0 e^{0,2209t}$ yang menunjukkan kurva eksponensial pertumbuhan dengan makanan yang tidak terbatas. Berdasarkan persamaan di atas, maka pada tahun 2012 pertumbuhan wereng cokelat selama 70 hari dari satu ekor wereng betina menghasilkan keturunan 5.194.460 ekor (Gambar 2).

Tabel 4. Sifat populasi wereng cokelat pada varietas Pelita I/1 dan Inpari 13. BB Padi Sukamandi tahun 1984 dan 2012.

Simbol	Uraian	Nilai besaran biologi wereng cokelat		Evolusi tahun 2012 kelipatan tahun 1984
		Inpari 13 tahun 2012	Pelita I/1 tahun 1984	
G_r	Laju reproduksi kotor	163,3	77,01	2,12
R_o	Laju reproduksi bersih	144,7	21,76	6,65
T_c	Waktu satu generasi (hari) satu neraca hidup (cohort)	25,70	31,15	0,83
r_m	Laju pertumbuhan intrinsik	0,2209	0,103	2,14
DT	Waktu penggandaan	3,14	6,73	2,14
λ	Laju pertumbuhan terbatas	1,247	1,11	1,12
b	Angka kelahiran	0,290	0,15	1,93
d	Angka kematian	0,069	0,05	1,38

Tahun 2012: suhu pkl 7.00 adalah 24,1-30°C dengan kelembaban 62-99%
 suhu pkl 12.00 adalah 33,1-3,6°C dengan kelembaban 41-64%
 suhu pkl 16.00 adalah 31,8-35,6°C dengan kelembaban 47-68%



Gambar 2. Laju pertumbuhan wereng cokelat pada varietas Inpari 13, suhu 24,1-38,6°C, kelembaban 41-99%. Sukamandi, rumah kaca, 2012.

Nilai duga tersebut menunjukkan kenaikan populasi wereng cokelat dalam dasawarsa 1984-2012 sangat tinggi, mencapai 3,839 kali lipat pada umur 70 hari dibanding perkembangan wereng cokelat pada Pelita I/1 tahun 1984.

Angka kelahiran wereng cokelat pada Inpari 13 tahun 2012 adalah 1,93 kali lipat kelahiran tahun 1984. Angka kematian wereng cokelat pada Inpari 13 tahun 2012 adalah 1,38 kali lipat angka kematian tahun 1984. Indeks kelahiran 1,5617 dan indeks kematian mencapai 0,2652. Dari indeks kelahiran dan kematian didapatkan bahwa daya bertahan hidup mencapai 5,8881 kali lipat dibanding tiga dasawarsa yang lalu. Hal ini menunjukkan daya bertahan hidup wereng cokelat pada Inpari 13 tahun 2012 sangat tinggi, hampir sama dengan daya bertahan hidup pada Pelita I/1.

Laju pertumbuhan intrinsik wereng cokelat pada varietas rentan Pelita I/1 lebih tinggi dengan $r_m = 0,2285$ betina/betina/hari dibanding Inpari 13 yang agak tahan wereng cokelat dengan $r_m = 0,2209$ betina/betina/hari. Demikian juga angka kelahiran wereng cokelat pada Pelita I/1 dengan $b = 0,305$ lebih tinggi dibanding angka kelahiran wereng cokelat pada Inpari 13 dengan $b = 0,290$, sedangkan angka kematiannya hampir sama $d = 0,077$ untuk Pelita I/1 dan $d = 0,069$ untuk Inpari 13. Hal ini menjadi dasar perkembangan populasi yang tinggi pada varietas rentan.

Varietas Bahbutong bereaksi sangat tahan, Barumun bereaksi tahan, sedangkan Inpari 13 bereaksi agak tahan terhadap wereng cokelat asal Subang, Jawa Barat (Munawar *et al.* 2014). Wereng cokelat yang makan tanaman padi rentan akan meningkatkan persentase keturunan brakhiptera betina dan laju reproduksinya (Yin *et al.* 2008). Kemampuan reproduksi wereng cokelat pada padi hibrida rentan cukup tinggi, terlihat dari tingkat pertumbuhan saat padi bunting mencapai 4,80 kali (Xu *et al.* 2013).

Laju pertumbuhan intrinsik dan laju pertumbuhan terbatas wereng cokelat di Indonesia lebih tinggi dibanding India dan China. Satpathi *et al.* (2011) melaporkan laju pertumbuhan intrinsik dan laju pertumbuhan terbatas wereng cokelat di India adalah 0,1286023 dan 1,1372370 pada musim hujan, sedangkan pada musim dingin adalah 0,0702774 dan 1,0728057. Hal ini menunjukkan laju pertumbuhan intrinsik meningkat dengan meningkatnya suhu. Menurut Win *et al.* (2011a) dan Liang-Xiang *et al.* (2010), laju pertumbuhan intrinsik wereng cokelat adalah 0,0677-0,1340 betina/betina/hari, laju pertumbuhan terbatas 1,0688 betina/betina/hari dan rata-rata satu generasi 34,05 hari.

Laju pertumbuhan intrinsik dan laju pertumbuhan terbatas wereng cokelat pada tahun 2012 lebih tinggi dibanding tahun 1984. Hal ini disebabkan oleh perubahan suhu yang lebih tinggi dibanding tiga dasawarsa yang lalu, baik suhu saat penelitian maupun kenaikan suhu global. Neraca hidup wereng cokelat pada tahun 2012 lebih tinggi dibanding tahun 1984. Perubahan tersebut diakibatkan oleh perubahan iklim global di Indonesia dengan tren kenaikan suhu berkisar antara 0,8– 1,5°C/100 tahun. Secara umum tren data jangka panjang menunjukkan konsistensi laju peningkatan suhu 0,002°C/tahun atau 0,02°C/dekade (Kementerian PPN/Bappenas 2013).

Fluktuasi populasi wereng cokelat dipengaruhi oleh suhu, kelembaban, dan curah hujan (Win *et al.* 2011b), demikian juga hama *Helopeltis antonii* (Siswanto *et al.* 2008). Spesies akan berbeda dalam merespon perubahan iklim yang dapat mengganggu sifat antagonis (Singer and Parmesan 2010) dan interaksi mutualistik antarspesies (Doi *et al.* 2009, Memmot *et al.* 2007). Gangguan kuat yang mungkin terjadi jika kepekaan terhadap perubahan iklim tidak hanya berbeda antara spesies, tetapi juga antara tingkat trofik (Barton *et al.* 2009). Perubahan iklim global akan mempengaruhi tanaman, namun pengaruhnya akan lebih besar terhadap tropiknya (Megy´as and Mene´ndez 2012) karena gangguan interaksi hama dan inang dapat mempengaruhi dinamika rantai makanan dan proses evolusi (Barton *et al.* 2009).

Suhu yang lebih tinggi akan mengubah dinamika populasi hama pada ekosistem pertanian padi. Tanaman yang tumbuh pada kondisi CO₂ yang tinggi akibat gas rumah kaca (GRK) dapat mengubah nilai gizi tanaman dan berdampak pada kelimpahan populasi hama (Karuppaiah and Sujayanad 2012). Hal ini menunjukkan kenaikan suhu mengakibatkan perubahan dinamika populasi hama.

Yun *et al.* (2012) melaporkan perubahan perilaku wereng cokelat pada pertanian padi di lingkungan artifisial GRK-CO₂ dengan kadar CO₂ normal rata-rata 375 dan CO₂ tinggi 750 µL/L. Protein dan asam amino total lebih tinggi pada tanaman padi di lingkungan CO₂ normal dibanding lingkungan CO₂ tinggi. Nimfa wereng cokelat memiliki kadar protein tinggi pada tanaman padi di lingkungan CO₂ normal, sedangkan kadar glukosanya rendah. Aktivitas tripsin lebih tinggi pada nimfa wereng cokelat yang hidup pada tanaman padi di lingkungan CO₂ tinggi. Yun *et al.* (2012) mendeteksi aktivitas total enzim protektif superoxide dismutase dan katalase rendah pada nimfa yang hidup pada kondisi CO₂ normal. Sementara aktivitas detoksifikasi enzim glutathione S-transferase nyata lebih tinggi di lingkungan CO₂ normal.

Serangga terpengaruh oleh perubahan iklim karena sifat ectothermic dan sensitif terhadap curah hujan (Bale *et al.* 2002). Pengaruh langsung melalui faktor iklim adalah pada fisiologi dan perilaku serangga (Merrill *et al.* 2008, Parmesan 2007), atau pengaruh tidak langsung yang dimediasi oleh tanaman inang, pesaing (*competitor*) atau musuh alami (Thomson *et al.* 2010). Perubahan iklim juga dapat mempengaruhi fisiologi, kelimpahan hama, fenologi dan distribusi hama serangga (Dukes *et al.* 2009, Shi *et al.* 2014). Varietas IR26 dan IR36 tahan terhadap wereng cokelat pada suhu 25°C, namun ketahanannya akan patah pada suhu 34°C. Hal ini disebabkan karena suhu tinggi meningkatkan kadar gula larut, sedangkan kadar asam oksalat penentu ketahanan menurun (Ju *et al.* 2010a, Ju *et al.* 2010b). Tekanan lingkungan dapat menyebabkan mutasi pada hama dan penyakit tanaman yang meningkatkan daya rusak, sedangkan peningkatan suhu dan stres air mengurangi resistensi tanaman terhadap hama dan penyakit (Gornall *et al.* 2010).

Efek dari suhu pada produksi tanaman bervariasi menurut wilayah dan jenis tanaman, tapi peningkatan suhu dapat menurunkan hasil panen (Gornall *et al.* 2010). Suhu yang lebih tinggi menurunkan tingkat fotosintesis, mengurangi kelembaban tanah, meningkatkan kebutuhan air yang menyebabkan meningkatnya kelangsungan hidup hama, penyakit dan gulma, yang ke semua faktor tersebut mengurangi hasil akhir (Gornall *et al.* 2010, Lobell and Gourdji 2012, Ziska *et al.* 2011). Radiasi matahari dan suhu adalah faktor yang paling penting dalam meningkatkan produksi, karena bila radiasi matahari dan suhu meningkat berdampak pada penurunan hasil padi (Kawasaki and Herath 2011). Meningkatnya suhu atau panasnya suhu malam dapat meningkatkan kemandulan gabah dan mengurangi hasil gabah (Wassmann and Dobermann 2007). Perubahan tanaman akibat perubahan suhu berdampak pada dinamika populasi hama.

Neraca Hidup Wereng Cokelat

Neraca hidup wereng cokelat dapat menjelaskan evolusi wereng cokelat selama tiga dasawarsa sejak tahun 1984. Laju pertumbuhan intrinsik wereng cokelat pada 2012 lebih tinggi dibanding tahun 1984, hal ini disebabkan tidak ada kematian nimfa di semua umur peluang hidup, baik pada Pelita I/1 maupun Inpari 13. Kurva daya bertahan hidup (I_x) pada tahun 2012 menunjukkan nimfa wereng cokelat yang dipelihara pada Pelita I/1 dan Inpari 13 mencapai dewasa 100 dan 96% (Gambar 3), sedangkan pada tahun 1984 banyak nimfa yang tidak mencapai masa dewasa. Wereng cokelat dalam kehidupannya mengalami tiga fase pertumbuhan, yaitu

stadia telur 6,5-10 hari, stadia nimfa 12-13 hari pada Pelita I/1 dan 12 hari pada Inpari 13.

Pada varietas Pelita I/1, kematian imago yang tinggi mulai pada hari ke-8 setelah dewasa, sedangkan pada Inpari 13 mulai pada hari ke-5. Pada varietas Pelita I/1 nisbah wereng betina dan jantan pada tahun 2012 adalah 74% wereng betina dan 26% wereng jantan. Pada varietas Inpari 13 nisbah wereng betina dan jantan pada tahun 2012 adalah 70,8% wereng betina dan 29,2% wereng jantan. Pada varietas rentan, munculnya wereng betina lebih cepat dibanding varietas tahan. Kenyataan ini menunjukkan perkembangan populasi wereng cokelat pada varietas rentan lebih cepat sejalan dengan meningkatnya keturunan wereng betina.

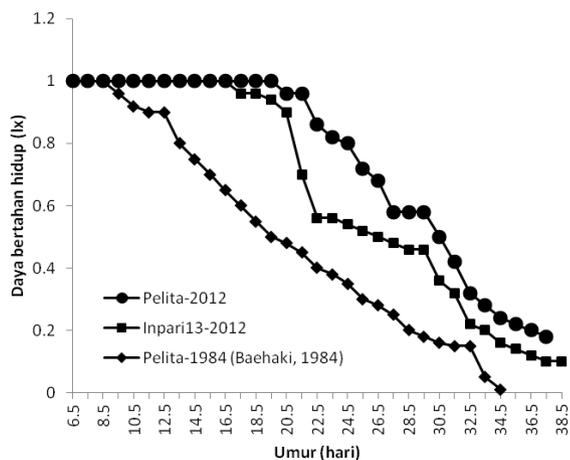
Kurva keperidian wereng cokelat (m_x) pada varietas Pelita I/1 mulanya rendah dan kemudian meningkat, puncaknya pada hari ke-4, kemudian menurun sampai wereng betina mati. Kurva keperidian pada Inpari 13 mulanya juga rendah dan kemudian meningkat, puncaknya pada hari ke-5 kemudian menurun terus sampai wereng betina mati (Gambar 4). Seekor betina wereng cokelat menghasilkan keturunan yang paling cepat pada 19,5 hari sejak stadia telur atau 13 hari sejak stadia nimfa. Wereng betina harian yang dilahirkan dari seekor betina paling banyak antara 4-11 hari umur imago. Umur terpanjang wereng cokelat betina pada Pelita I/1 adalah 18 hari, sedangkan pada Inpari 13 lebih panjang tiga hari (21 hari).

Peluang daya bertahan hidup nimfa wereng cokelat lebih 65% pada varietas ASD7, Rathu Heenati, ARC 10550, T12, Chin Saba, Pokkali, Nipponbare, dan TN1. Daya bertahan hidup tertinggi pada varietas Chin Saba mencapai 72,9% dan tingkat kelangsungan hidup yang

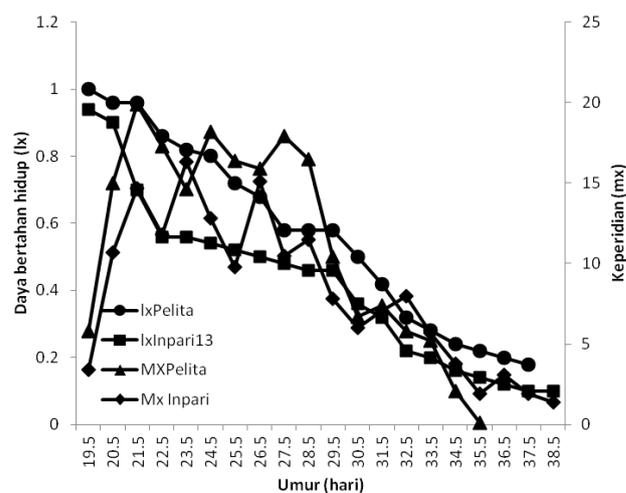
rendah ditemukan pada varietas Swarnalata, hanya 43,1% (Qiu *et al.* 2011). Myint *et al.* (2009) melaporkan tingkat kelangsungan hidup *N. lugens* betina 0% pada beberapa varietas padi yang membawa gen tahan. Penggunaan varietas tahan adalah metode yang paling ekonomis dan efektif untuk menekan populasi wereng cokelat (Chen *et al.* 2009).

Kelangsungan hidup nimfa dan dewasa, fekunditas dan daya tetas telur wereng cokelat meningkat nyata pada peningkatan kadar nitrogen dalam tanaman inang pada suhu 38°C. Kelangsungan hidup nimfa, fekunditas, dan daya tetas telur lebih tinggi pada tanaman padi di lokasi nitrogen tinggi dibandingkan dengan lokasi nitrogen rendah (Lu *et al.* 2005). Namun suhu di atas kisaran optimum menurunkan pertumbuhan, daya bertahan hidup wereng cokelat, dan pelipat daun padi, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guen) (Karuppaiah and Sujayanad 2012), mengurangi kesuburan dan meningkatnya angka kematian beberapa spesies (Rouault *et al.* 2006, Long *et al.* 2012, Liu *et al.* 2004). Suhu di atas 32,7°C merugikan untuk oviposisi wereng cokelat betina dan peningkatan suhu menurunkan tingkat penetasan telur, dan umur imago menjadi singkat (Manikandan and Kennedy 2013).

Implikasi dari penelitian ini menunjukkan dinamika populasi wereng cokelat telah berubah mengarah kepada perkembangan yang lebih tinggi. Wereng cokelat masih merupakan hama utama padi dan tetap menjadi kendala di masa mendatang. Luasnya serangan dan sulitnya pengendalian wereng cokelat diakibatkan oleh ciri-ciri yang dimilikinya yaitu: a) merupakan hama r-strategik dengan laju pertumbuhan eksponensial, b) merupakan serangga kecil yang cepat menemukan



Gambar. 3. Peluang hidup (l_x) harian wereng cokelat pada tanaman padi varietas Pelita I/1 dan Inpari 13.



Gambar. 4. Peluang hidup imago (l_x) dan keperidian harian wereng betina (m_x) pada tanaman padi varietas Pelita I/1 dan Inpari 13.

habitatnya, berkembang biak dengan cepat, dan mampu menggunakan sumber makanan dengan baik sebelum serangga lain ikut berkompetisi, c) mempunyai sifat menyebar dengan cepat ke habitat baru sebelum habitat lama tidak lagi berguna, sehingga terhindar dari *katastropik* (pemusnahan diri), d) mempunyai keistimewaan dengan pola perkembangan hama mengikuti *biological clock*, artinya wereng cokelat dapat berkembang biak dan merusak tanaman padi pada lingkungan yang cocok, baik pada musim hujan maupun musim kemarau. Sebelum tahun 1994, wereng cokelat merupakan hama padi pada musim hujan, tetapi tahun berikutnya menyerang tanaman padi pada musim hujan dan musim kemarau.

KESIMPULAN

Perkembangan wereng cokelat berubah lebih tinggi setelah tiga dasawarsa dibanding tahun 1984.

Laju pertumbuhan intrinsik wereng cokelat pada varietas Pelita I/1 ($r_m = 0,2285$ betina/betina/hari) dengan persamaan eksponensialnya $N_t = N_0 e^{0,2285t}$ dan pada Inpari 13 ($r_m = 0,2209$ betina/betina/hari) dengan persamaan eksponensial $N_t = N_0 e^{0,2209t}$.

Laju pertumbuhan intrinsik, angka kelahiran, dan angka kematian wereng cokelat pada varietas Pelita I/1 tahun 2012 adalah 2,22; 2,03 dan 1,54 kali lipat lebih tinggi dibanding tahun 1984. Laju pertumbuhan intrinsik, angka kelahiran, dan angka kematian wereng cokelat pada varietas Inpari 13 tahun 2012 adalah 2,14; 1,93 dan 1,38 kali lipat lebih tinggi dibanding tahun 1984.

Indeks kelahiran wereng cokelat pada varietas Pelita I/1 adalah 1,6235, indeks kematian 0,3104, serta indeks daya bertahan hidup 5,2299 kali lipat dibanding tiga dasawarsa yang lalu. Indeks kelahiran wereng cokelat pada varietas Inpari 13 adalah 1,5617, indeks kematian 0,2652, dan indeks daya bertahan hidup 5,8881 kali lipat dibanding tiga dasawarsa yang lalu.

Pada varietas Pelita I/1, nisbah wereng betina dan jantan pada tahun 2012 adalah 74% wereng betina dan 26% wereng jantan. Pada varietas Inpari 13, nisbah wereng betina dan jantan pada tahun 2012 adalah 70,8% wereng betina dan 29,2% wereng jantan.

DAFTAR PUSTAKA

Baehaki, S.E. 1984. Laju pertumbuhan intrinsik wereng cokelat di laboratorium. *Jurnal Penelitian Pertanian* 4(1):8-10.
Baehaki, S.E., A. Kartohardjono, dan D. Munawar. 2011. Peran varietas dalam menurunkan populasi wereng cokelat biotipe 4 pada tanaman padi. *Jurnal Penelitian Pertanian* 30(3):145-153.

Baehaki, S.E. 2012. Perkembangan biotipe hama wereng cokelat pada tanaman padi. *IPTEK Tanaman Pangan* 7(1):8-17.
Baehaki, S.E. dan I M.J. Mejaya. 2014. Wereng cokelat sebagai hama global bernilai ekonomi tinggi dan strategi pengendaliannya. *IPTEK Tanaman Pangan* 9(1):1-12.
Barton, B.T., A.P. Beckerman, and O.J. Schmitz. 2009. Climate warming strengthens indirect interactions in an old-field food web. *Ecology* 90:346-2351.
Bale, J.S., G.J. Masters, I.D. Hodkinson, C. Awmack, T.M. Bezemer, V.K. Brown, J. Butterfield, A. Buse, J.C. Coulson, J. Farrar, J.E.G. Good, R. Harrington, S. Hartley, T.H. Jones. R.L. Lindroth, M.C. Press, I. Symrnioudis, A.D. Watt, and J.B. Whittaker. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperatures on insect herbivores. *Global Change Biol.* 8:1-16.
Chen, F., Q. Fu, J. Luo, F.X. Lai F X, L.Y. Gui. 2009. Adult stage resistances to brown planthopper, *Nilaparvata lugens* of rice varieties with different seedling resistances. *Chin. J. Rice Sci.* 23(2):201-206.
Ditlin. 2013. Laporan Tahunan Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan, Tahun 2012. 167p.
Doi, H., O.Gordo, and I. Katano. 2008. Heterogeneous intra-annual climatic changes drive different phenological responses at two trophic levels. *Clim. Res.* 36:181-190.
Dukes, J.S, J. Pontius, D. Orwig, J.R. Garnas, V.L. Rodgers, N. Brazee, B. Cooke, K.A. Theoharides, E.E. Stange, R. Harrington, J. Ehrenfeld, J. Gurevitch, M. Lerda, K. Stinson, R. Wick, and M. Ayres. 2009. Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America. *Can. J. For. Res.* 39:231-248.
Gornall, J., R. Betts, and E. Burke. 2010. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 365:2973-2989.
IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Summary for Policymakers. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (penyunting: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller). Cambridge University Press.
Ju, W.B., X.H. Xing, Z.X. Song, F. Qiang, and L.Z. Xian. 2010a. Effects of temperature on resistance of rice to brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Chin J. Rice Sci.* 24(4): 443-446.
Ju., W.B., X.H. Xing, Z.X. Song, F. Qiang, and L.Z. Xian. 2010b. High temperature modifies resistance performances of rice varieties to brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *Rice Science* 17(4):334-338.
Karuppaiah, V and G.K. Sujayanad. 2012. Impact of Climate Change on Population Dynamics of Insect Pests. *World Journal of Agricultural Sciences* 8(3):240-246.
Kawasaki, J and S. Herath . 2011. Impact Assessment of climate Change on rice, production in Khon Kaen Province, Thailand. *J. ISSAAS.* 17(2):14-28.
Kementerian PPN/Bappenas. 2013. Rencana aksi nasional adaptasi perubahan iklim (RAN-API). <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source.> 28p.
Liang-Xiang, H.U., H. Chi, J. Zhang, Q. Zhou and R. J. Zhang, 2010. Life table analysis of the performance of *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae) on two wild rice species. *J. Economic Entomol.* 103(5):1628-1635.

- Liu, Z. W., Z.J. Han, Y.C. Wang, H.W. Zhang. 2004. Effect of temperature on population growth of susceptible and resistant strains of *Nilaparvata lugens* to imidacloprid. *Entomol Knowl.* 43(1):47-50.
- Lobell, D.B. and S.M. Gourdj. 2012. The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiol.* 160(4):1686-1697.
- Long, Y., C. Hu, B. Shi, X. Yang and M. Hou. 2012. Effects of Temperature on Mate Location in the Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Environmental Entomology* 41(5):1231-1238.
- Lu, Z.X, K. L. Heong, X. P. Yu and C. Hu. 2005. Effects of nitrogen on the tolerance of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, to adverse environmental factors. *Insect Science* 12(2):121-128.
- Memmott, J., P.G. Craze, N.M. Waser, and M.V. Price. 2007. Global warming and the disruption of plantpollinator interactions. *Ecol. Lett.* 10:710-717.
- Manikandan, N and J. S Kennedy,. 2013. Influence of temperature on egg hatching and development time of brown plant hopper. *International Journal of Plant Protection* . 6(2):376-378.
- Merrill, R., D. Gutierrez, O. Lewis, J. Gutierrez, S. Diez, and R. Wilson. 2008. Combined effects of climate and biotic interactions on the elevational range of a phytophagous insect. *J. Anim. Ecol.* 77:145-155.
- Megý'as, A.G and R. Mene'ndez. 2012. Climate change effects on above- and below-ground interactions in a dryland ecosystem. *Philos. Trans. R. Soc Lond. B. Biol. Sci.* 367: 3115-3124.
- Myint, K.K.M., Y. Hideshi, T. Masami, and M. Masaya. 2009. Virulence of long-term laboratory populations of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål), and whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* (Horva'th) (Homoptera: Delphacidae), on rice differential varieties. *Applied Entomology and Zoology* 44:149-153.
- Munawar, D., E.H. Iswanto, dan Baehaki S.E. 2014. Evaluasi ketahanan varietas unggul padi yang ditanam petani terhadap wereng cokelat. *Pros. Sem. Nas. Badan Litbang Pertanian.* 1139-1146.
- Parmesan, C. dan G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421:37-42.
- Parmesan, C. 2007. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global Change Biol.* 13:1860-1872.
- Qiu, Y., J. Guo, S. Jing, M. Tang, L. Zhu, and G. He. 2011. Identification of antibiosis and tolerance in rice varieties carrying brown planthopper resistance genes. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 141:224-231.
- Rouault, G., J.N. Candau, F. Lieutier, L.M. Nageleisen, J.C. Martin, and N. Warzee, 2006. Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Ann. of Forest Sci.* 63:613-624.
- Satpathi, C.R., G. Katti, and Y.G. Prasad. 2011. Effect of seasonal variation on life table of brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål on Rice Plant in Eastern India. *Middle-East Journal of Scientific Research* 10(3):370-373.
- Siswanto, R.M., O. Dzolkhifli, and K. Elna. 2008. Population fluctuation of *Helopeltis antonii* Signoret on cashew *Anacardium occidentale* L. in Java Indonesia. *Pertanika Journal of Tropical Agriculture Science* 31:191-196.
- Singer, M.C. and C. Parmesan. 2010. Phenological asynchrony between herbivorous insects and their hosts: signal of climate change or pre-existing adaptive strategy. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 365:3161-3176.
- Shi, B.K., J.L. Huang, C.X. Hu, and M.L. Hou. 2014. Interactive effects of elevated CO₂ and temperature on rice planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Journal of Integrative Agriculture* 13(7):1520-1529.
- Thomson, L.J., S. Macfadyen, and A.A. Hoffmann. 2010. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biol. Control* 52:296-306.
- Valiant, R. 2014. Uraian ringkas tentang perubahan iklim serta proses mitigasi dan adaptasi terhadap bencana yang ditimbulkan. <http://www.academia.edu/7341209/>.
- Wassmann, R. and A. Dobermann. 2007. Climate change adaptation through rice production in regions with high poverty levels. *Journal of ICRISAT Agricultural Research* 4(1):1-24.
- Win, S.S., R. Muhamad, Z. A. M. Ahmad, and N. A. Adam. 2011a. Life table and population parameters of *Nilaparvata lugens* Stal. (Homoptera: Delphacidae) on Rice. *Trop. Life Sci. Res.* 22(1):25-35.
- Win, S.S., R. Muhamad, Z. A.M. Ahmad, and N.A. Adam. 2011b. Population fluctuation of brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stal. and whiteback planthopper *Sogatella furcifera* Horvath on Rice. *J. Ent.* 8(2):183-190.
- Xu, S., H. Wang, E. Wang, and G. Zhao. 2013. Reproductive rate of rice brown planthopper population of super rice Yongyou 6. *Advance Journal of Food Science and Technology* 5(5):539-542.
- Yin, J.L., H.W. Xu, J.C. Wu, J.H. Hu, and G.Q. Yang. 2008. Cultivar and insecticide applications affect the physiological development of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae). *Environ. Entomol.* 37(1):206-212.
- Yun, Z.Y., H.W. Kun, S. Li, W. Gang, Z. Jing, Z. W. Yun, H.H. Xia, L.J. Sheng, X.N. Wen, and X.Y. Fei. 2012. Effects of elevated CO₂ on the nutrient compositions and enzymes activities of *Nilaparvata lugens* nymphs fed on rice plants. *Life Sciences* 55(10): 920-926.
- Ziska, L.H., D.M. Blumenthal, G.B. Runion, E.R. Hunt, and H. Diaz-Soltero. 2011. Invasive species and climate change: An agronomic perspective. *Clim. Change.* 105:13-42.