

Respon Ketahanan Beberapa Varietas Gandum terhadap Hama Gudang *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Dryophthoridae)

Lina Herlina^{1*} dan Bonjok Istiaji²

¹Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian, Jl. Tentara Pelajar No. 3A, Bogor 16111
Telp. (0251) 8337975; Faks. (0251) 8338820; *E-mail: tydars@yahoo.com

²Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus Darmaga, Bogor 16620

Diajukan: 25 April 2013; Diterima: 24 September 2013

ABSTRACT

Resistance Response of Several Wheat Varieties Against Pest of Stored Product, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Dryophthoridae). Lina Herlina and Bonjok Istiaji. Since *Sitophilus zeamais* still become the major pest of wheat as stored product. Twelve varieties of wheat were evaluated for their resistance to the infestation of *S. zeamais*. The study was conducted at the Laboratory of Insect Specimen Collection of Indonesian Center for Agriculture Biotechnology and Genetic Resource Research and Development (ICABIOGRAD) from September 2011 to February 2012. Grains of each 12 varieties of wheat was weighed for 5 grams and placed into a plastic bottle. Six female imagos of *S. zeamais* (1 week old) were introduced into the bottle contained 5 grams of wheat grains. After seven days, all the insects were removed. Observation were done to count the dead and live insects after introduction. The number of larvae emerged from eggs were calculated and weighed daily. Grain weight of each variety was also weighed, the broken and intact seeds were counted and recorded at the end of the infestation. Research were conducted in randomly complete design using one factor, that was twelve varieties of wheat each were replicated three times. The result showed that the highest mortality of the pest were in Perdix, while the lowest were that in Anemos, Combi, and Nandu (0-16.7%). The highest fertility of the pests were found in the Anemos and SW Triso, while the lowest were there in Picallo (14.33-47.67 insects). Anemos was known to be variety with the highest insects population weight, while the Picallo was the variety that inhibited insect population (0.0161-0.0544 g). The longest of insect development periods was on Combi, the shortest was on Sweta (51.33-64.33 days). The shortest median development time was in the Anemos and the longest was in the Sit Nortrend (37.33-44 days). The highest percentage of seed damage and yield loss were in the Anemos, while the lowest were Picallo and Madonna. ANOVA at 5% showed no significant different for all parameters observed on the tested varieties. Resistance classification based on the indexes of Modification, Pointe and Dobie recorded that the most resistant varieties were Picallo and Pasadena.

Keywords: *Sitophilus*, *S. zeamais*, wheat, stored product insect-pest.

ABSTRAK

Sitophilus zeamais masih menjadi hama utama pada produk pascapanen. Penelitian dilakukan di Laboratorium Koleksi Spesimen Serangga BB Biogen dari September 2011 sampai Februari 2012 untuk mengevaluasi ketahanan 12 varietas gandum terhadap infestasi *S. zeamais*. Biji 12 varietas masing-masing ditimbang 5 g dan dimasukkan ke dalam botol plastik, kemudian diintroduksikan enam imago betina *S. zeamais* berumur seminggu. Setelah tujuh hari, seluruh serangga dikeluaran, dihitung yang mati dan yang masih hidup. Jumlah larva (progeni F_1) yang muncul dari telur diamati dan dihitung setiap hari. Berat gandum tiap varietas ditimbang pada akhir percobaan. Biji yang berlubang maupun yang masih utuh dihitung dan dicatat. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap satu faktor, yaitu jenis varietas gandum sebanyak 12 varietas, masing-masing dengan tiga ulangan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa mortalitas larva tertinggi ditemukan pada varietas Perdix, sedangkan terendah pada Anemos, Combi, dan Nandu (kisaran 0-16,7%). Fertilitas tertinggi ditemukan pada Anemos dan SW Triso, sedangkan terendah pada Picallo (kisaran 14,33-47,67 ekor). Bobot tertinggi larva serangga ditemukan pada Anemos, terendah pada Picallo (kisaran 0,0161-0,0544 g). Perkembangan serangga terlama ditemukan pada Combi dan terpendek pada varietas Sweta (kisaran 51,33-64,33 hari). Waktu paruh terpendek pada varietas Anemos dan terpanjang pada varietas Sit Nortrend (kisaran 37,33-44 hari). Kerusakan biji maupun kehilangan hasil tertinggi pada varietas Anemos, sedangkan terendah pada Picallo dan Madonna. Hasil ANOVA pada taraf 5% menunjukkan tidak terdapat perbedaan pengaruh yang signifikan dari seluruh varietas terhadap semua parameter yang diamati. Berdasarkan indeks Modif, Pointe maupun Dobie, varietas yang paling tahan adalah Picallo dan Pasadena.

Kata kunci: *Sitophilus*, *S. zeamais*, gandum, hama gudang.

PENDAHULUAN

Salah satu komponen ketahanan pangan adalah adanya jaminan perlindungan terhadap tanaman pangan dan hasil-hasilnya dari kerusakan

maupun degradasi yang disebabkan serangan organisme pengganggu, antara lain hama serangga. Adanya gangguan hama serangga di penyimpanan telah menyebabkan kerugian ekonomi yang mencapai jutaan rupiah. Hal tersebut apabila tidak diatasi dengan baik, maka dapat berakibat buruk terhadap stabilitas ketahanan pangan (FAO, 2009).

Sitophilus zeamais Motschulsky (Coleoptera: Dryophthoridae) dikenal sebagai hama penting pada produk serealia pascapanen di daerah tropik maupun subtropik (Hoffman 2000; Throne 1994), terutama yang disimpan tanpa diproteksi dengan perlakuan kimia. Hama ini bersifat kosmopolitan yang mampu menyerang tanaman jagung (*Zea mays*), sorgum, beras, gandum, dan produk makanan olahan, di antaranya pasta dan biskuit. Pada jagung atau sorgum, hama ini dapat menyebabkan kerusakan 30-40%, khususnya ketika tingkat kadar air biji mencapai 18-20% (Garcia-Lara dan Bergvinson 2007). *Sitophilus zeamais* bersama-sama dengan hama lainnya menyebabkan kerugian pada jagung sekitar 24,5%. Selain merusak secara langsung, serangan *S. zeamais* dapat mengurangi nilai gizi, berat biji, perkembahan, dan menurunkan nilai pasar (Napoleao *et al.*, 2013; Tefera *et al.*, 2011).

Di Indonesia, *S. zeamais* dilaporkan sebagai hama gudang utama yang menyerang biji-bijian di penyimpanan, antara lain padi, beras, dan jagung (Surtikanti, 2004). Serangan hama ini menyebabkan biji berlubang, cepat pecah dan hancur menjadi tepung. Selain itu, biji yang rusak mengalami penurunan nilai gizi, persentase kecambah serta bobot maupun nilai jualnya (Abebe *et al.*, 2009). Salah satu komoditas yang juga sering dilaporkan diinfestasi oleh *S. zeamais* ialah gandum. Gandum merupakan komoditas serealia strategis yang menyita devisa cukup tinggi, karena produksi dalam negeri yang belum mampu memenuhi permintaan konsumen yang selalu meningkat setiap tahun. Kondisi ini menyebabkan pemerintah melakukan impor untuk memenuhi permintaan di dalam negeri, meskipun terjadi kenaikan harga di pasar internasional. Indonesia tercatat sebagai salah satu dari 10 negara importir gandum terbesar sejak tahun 2003 (Worden, 2004).

Selain aspek budi daya, yang masih menjadi kendala utama adalah kehilangan hasil akibat infestasi hama gudang secara signifikan akan turut memperberat upaya pemerintah melepaskan ketergantungan terhadap impor gandum dari luar negeri. Pengendalian dengan memanfaatkan bahan kimia (pestisida) sebenarnya dapat dilakukan untuk mengendalikan *S. zeamais*, sebagaimana yang dilakukan di gudang-gudang penyimpanan skala besar (swasta ataupun milik pemerintah). Namun bagi petani dengan skala usaha yang kecil, konsumsi pestisida merupakan beban tersendiri. Selain harga pestisida yang semakin mahal, penyimpanan hasil panen biasanya dilakukan hanya dalam skala kecil. Oleh karena itu, pemakaian pestisida untuk pengendalian hama gudang dianggap kurang ekonomis.

Prinsip dasar pengendalian hama gudang meliputi penanganan dan pengolahan hasil panen, pengelolaan dan sanitasi gudang, manipulasi lingkungan fisik, pemantauan hama, peningkatan keterampilan dan kemampuan operasional pengelola gudang (Anggara dan Sudarmaji, 2009). Pengendalian hama gudang diupayakan dengan cara membersihkan gudang dan peralatan penyimpanan, seleksi gabah yang akan disimpan, dan penggunaan kemasan yang bersih dan tidak terinfestasi hama gudang.

Kepedulian masyarakat yang semakin meningkat terhadap dampak negatif pemakaian pestisida, antara lain tingginya risiko bagi ancaman kesehatan manusia, lingkungan, resistensi, dan resurjensi hama turut berkontribusi terhadap penurunan aplikasi pestisida sintetik di lapang. Namun demikian, kesadaran tersebut tidak diikuti dengan upaya peningkatan sanitasi gudang sebagai hal yang fundamental dalam menekan infestasi hama gudang di lumbung-lumbung petani. Oleh karena itu, *S. zeamais* tetap menjadi ancaman utama pada produk-produk pertanian di gudang penyimpanan.

Salah satu alternatif pengendalian hama gudang yang lebih aman dan praktis untuk mengantisipasi berbagai permasalahan tersebut ialah dengan mengembangkan varietas yang tahan terhadap infestasi *S. zeamais*. Penggunaan tanaman tahan merupakan komponen penting dalam strategi pengendalian hama terpadu dalam rangka menekan

kehilangan hasil pada saat pascapanen (Bergvinson 2004, Bergvinson dan Garcia-Lara 2004; Garcia-Lara dan Bergvinson, 2007). Upaya seleksi varietas yang tahan terhadap hama ini dapat dikembangkan lebih lanjut dalam kegiatan pemuliaan. Pada jagung, pengembangan populasi materi pemuliaan yang resisten terhadap *S. zeamais* telah dilakukan (Dhliwayo dan Pixley, 2001; Tefera *et al.*, 2013). Populasi jagung aksesi asal Karibia dengan gen ketahanan terhadap *P. truncatus* dan *S. zeamais* berhasil dikembangkan. Melalui kegiatan pemuliaan, sifat resistensi dapat diintegrasikan ke dalam varietas-varietas jagung elit (Bergvinson 2001; Garcia-Lara *et al.*, 2007; Winkler dan Garcia Lara 2010; Bergvinson 2001). Dengan demikian, strategi yang sama juga berpeluang untuk dikembangkan pada komoditas gandum untuk menghasilkan varietas gandum yang tahan terhadap *S. zeamais*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan beberapa varietas gandum terhadap *S. zeamais*. Di Indonesia, informasi tentang hal tersebut masih sangat terbatas sehingga informasi yang dihasilkan akan bermanfaat bagi pengembangan varietas unggul gandum baru melalui upaya pemuliaan yang memiliki ketahanan terhadap *S. zeamais*.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Koleksi Spesimen Serangga BB Biogen dari bulan September 2011 hingga Februari 2012. Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain beras varietas Ciherang untuk media perbanyakan serangga, wadah plastik segiempat berukuran 30 cm x 20 cm x 8 cm untuk tempat perbanyakan, kassa nilon, kuas halus, timbangan, 12 varietas gandum, botol plastik berdiameter 5 cm dan tinggi 8 cm untuk pengujian, serta imago *S. zeamais* sebagai serangga uji.

Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap satu faktor dengan tiga ulangan. Perlakuan (faktor) yang diuji adalah varietas gandum sebanyak 12 varietas. Dalam satu unit percobaan terdapat 36 unit pengamatan.

Perbanyakan Serangga

Sumber serangga diperoleh dengan mengoleksi hama yang menginfestasi beras di salah satu toko beras di Pasar Ciampela (Jawa Barat). Perbanyak hama gudang *S. zeamais* dilakukan dengan cara menginfestasikan 5 pasang imago *S. zeamais* ke dalam 500 g beras varietas Ciherang yang telah disaring hingga bersih dari kotoran dan dibiarkan dalam wadah berukuran 30 cm x 20 cm x 8 cm yang ditutup kasa nilon selama satu minggu untuk memberi imago waktu yang cukup beroviposisi. Imago dipindahkan ke media yang baru untuk kembali beroviposisi. Kegiatan ini diulang hingga diperoleh serangga uji sesuai kebutuhan.

Tiga minggu setelah infestasi, dilakukan pengumpulan generasi pertama yang muncul setiap hari untuk digunakan dalam pengujian. Dengan demikian diperoleh serangga dengan umur seragam untuk digunakan dalam percobaan.

Evaluasi Ketahanan Varietas Gandum terhadap *S. zeamais*

Sebanyak 5 g dari setiap varietas gandum diisikan ke dalam botol plastik (berdiameter 5 cm, tinggi 8 cm) dan ke dalamnya diintroduksikan 6 imago betina *S. zeamais* berumur seminggu. Setelah 7 hari, seluruh serangga dikeluarkan, dihitung yang mati dan yang masih hidup. Selanjutnya jumlah progeni F₁ serangga yang muncul diamati, dihitung, dan dikeluarkan dari dalam botol setiap hari. Kemunculan progeni diamati sampai 47 hari dari munculnya progeni pertama (diperkirakan seluruh keturunan telah muncul). Setelah tidak terdapat lagi serangga yang muncul, dilakukan penimbangan berat gandum dari setiap botol. Berikutnya biji yang masih utuh dan jumlah biji yang rusak (berlubang) dihitung dengan mengamati biji gandum satu per satu dari setiap botol. Biji yang berlubang maupun yang masih utuh dihitung dan dicatat.

Peubah Pengamatan dan Analisis Data

Peubah yang diamati antara lain:

- a. Persentase mortalitas imago *S. zeamais* saat introduksi (M), yaitu jumlah imago yang mati dibandingkan dengan jumlah yang hidup setelah 7 hari introduksi.

- b. Fertilitas, didasarkan pada jumlah progeni F_1 yang muncul (F), yaitu menghitung total *S. zeamais* yang muncul hingga akhir pengamatan.
- c. Total lama waktu perkembangan (D), didasarkan pada lamanya waktu yang diperlukan sampai kemunculan seluruh progeni F_1 .
- d. Waktu paruh perkembangan (*median development time*) (MD), ditentukan dari pertengahan periode oviposisi hingga munculnya 50% total progeni F_1 (Dobie, 1977). Lama perkembangan (*full development time*) (D) ditetapkan sebagai lamanya waktu yang dibutuhkan bagi munculnya seluruh turunan pertama mencapai stadia imago; sedangkan waktu paruh perkembangan (MD) adalah lamanya waktu yang diperlukan hingga munculnya 50% atau separuh dari total turunan pertama (F_1) mencapai imago dari suatu organisme. Lama waktu paruh perkembangan dan jumlah turunan pertama merupakan parameter yang penting untuk menentukan ketahanan varietas terhadap hama gudang, antara lain untuk menentukan indeks kerentanannya. Semakin lama waktu paruh, semakin tahan suatu varietas terhadap infestasi hama gudang, demikian pula, semakin banyak turunan F_1 yang dihasilkan artinya varietas tersebut makin rentan terhadap hama gudang.
- e. Persentase kerusakan biji (DG), dihitung dengan:

$$DG = \frac{FG - BG}{FG} \times 100\%$$

di mana BG = jumlah biji rusak; FG = jumlah biji utuh.

Biji yang rusak ditentukan sebagai biji yang berlubang atau bentuknya tidak utuh lagi akibat aktivitas *S. zeamais*, sedangkan kehilangan hasil yang dimaksud dalam percobaan ini adalah pengurangan atau penyusutan berat gandum yang diukur di akhir percobaan (akibat infestasi serangga uji).

- f. Persentase kehilangan berat (WL), yang dihitung dengan $WL = WH - WD \times 100\%$.

di mana WH = berat biji sebelum infestasi hama; WD = berat biji setelah diinfestasi hama.

- g. Indeks Kerentanan

Indeks Kerentanan membandingkan tiga metode penghitungan, yaitu berdasarkan Metode Dobie, Modifikasi Pointe, dan Modifikasi sendiri.

1. Indeks Dobie (I Dobie), didasarkan pada jumlah keturunan dan waktu paruh perkembangan, yaitu:

$$\text{Indeks Dobie} = 100 \times \frac{[\log_e (\text{total jumlah progeni } F_1 \text{ yang muncul})]}{\text{waktu paruh perkembangan}}$$

Indeks ini memiliki rentang nilai 0-11 di mana 0-3 = resisten; 4-7 = moderat; 8-10 = rentan; dan $11 \geq$ sangat rentan (Dobie, 1974).

2. Indeks Modifikasi Pointe (I-Pointe), didasarkan pada indeks pertumbuhan yang dirumuskan Pointe, yaitu:

$$\text{Indeks Pertumbuhan} = \frac{\text{total jumlah progeni } F_1 \text{ yang muncul}}{\text{Lama waktu perkembangan}}$$

Indeks ini dimodifikasi menjadi:

$I\text{-Pointe} = 100\% \times \text{Indeks Pertumbuhan}$
Klasifikasi kerentanan ditentukan dengan nilai 0-20% = tahan, 20-40% = agak tahan, 40-60% = rentan, $>60\%$ = sangat rentan.

3. Indeks Modifikasi (I-Modif), didasarkan pada rumus Indeks Pertumbuhan Pointe yang dimodifikasi, dengan memasukkan bobot tubuh dalam variabel hitung, dirumuskan:

$$I\text{-Modif} = 10^3 \times \frac{[\text{total jumlah progeni } F_1 \times \text{total bobot}]}{\text{Lama waktu perkembangan}}$$

di mana: bobot (g), lama perkembangan (hari).

Klasifikasi Indeks Kerentanan (I) ditentukan dengan nilai 0-5 = tahan, $5 < I < 10$ = agak tahan, $10 < I < 20$ = rentan, >20 = sangat rentan.

Analisis Data

Data persentase mortalitas imago, jumlah progeni F_1 , persentase kerusakan biji, dan kehilangan hasil diuji kenormalannya sebelum analisis lebih lanjut. Data yang memiliki sebaran tidak normal ditransformasi ke bentuk logaritma untuk menormalkan sebaran varians yang ada. Data yang sudah ditransformasi tersebut dianalisis dengan *one-way ANOVA* taraf 5% untuk melihat ada tidaknya pengaruh varietas terhadap peubah yang diamati. Selanjutnya, untuk melihat hubungan antara peubah yang diuji, dilakukan uji korelasi terhadap seluruh peubah yang diamati.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mortalitas Imago, Fertilitas, dan Bobot Populasi *S. zeamais*

Mortalitas imago yang diintroduksikan pada 12 varietas gandum bervariasi dengan kisaran antara 0-16,7% (Tabel 1). Angka mortalitas tertinggi pada varietas Perdix, sementara mortalitas 0% terdapat pada varietas Anemos, Combi, dan Nandu. Fertilitas juga bervariasi antar varietas yang diuji, dengan kisaran rerata fertilitas 14,33-47,67 ekor, di mana rerata fertilitas tertinggi diperoleh dari introduksi *S. zeamais* pada Anemos dan SW Triso; sedangkan fertilitas terendah terdapat pada Picallo. Bobot populasi *S. zeamais* berkisar antara 0,0161-0,0544 g, di mana rerata bobot tertinggi terdapat pada populasi F_1 *S. zeamais* yang diintroduksikan ke Anemos, sedangkan bobot terendah pada varietas Picallo (Tabel 1). Meskipun demikian, uji ANOVA taraf 5% menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang nyata antara pengaruh varietas terhadap mortalitas, fertilitas maupun bobot serangga (Tabel 2).

Beberapa serealia termasuk gandum mengandung protein inhibitor yang bersifat antibiosis, di antaranya adalah inhibitor amilase dan tripsin (Chilosi *et al.* 2000; Schimoler *et al.*, 2001). Inhibitor tripsin pada gandum juga diketahui bersifat antifungal sehingga melindungi terhadap invasi patogen. Enzim peroksidase pada serealia umumnya dikonservasi dalam endosperm, berperan mengkatalis polimerisasi asam fenol dan HPPR pada jaringan perikarp, sehingga menghambat invasi serangga hama maupun patogen (Alfonso-Rubi *et al.*, 2003; Chilosi *et al.*, 2000; Figueira *et al.*, 2003; Garcia-Lara *et al.*, 2007; Schimoler *et al.*, 2001). Protease inhibitor maupun tripsin inhibitor juga menghambat degradasi protein akibat aktivitas makan serangga (hama gudang) maupun patogen (Bergvinson dan Garcia-Lara, 2004). Mortalitas tinggi dan fertilitas maupun indeks modifikasi yang rendah pada varietas Picallo dan Pasadena dalam percobaan ini diindikasikan dengan adanya senyawa antibiosis pada gandum yang diuji.

Lektin, yaitu protein yang mengikat karbohidrat, pada beberapa tanaman juga merupakan senyawa bersifat insektisidal terhadap *S. zeamais*, di antaranya yang diisolasi dari daun *Myracrodruon*

urundeuva (Napoleao *et al.*, 2013). Senyawa lektin ini dilaporkan bersifat *biodegradable*, berpengaruh buruk terhadap daya tahan hidup, pertumbuhan peletakan telur (oviposisi), dan reproduksi dari serangga hama pada produk pascapanen lainnya, seperti ngengat *Ephestia kuehriella* Zeller dan *Corcyra cephalonica*, bahkan bersifat insektisidal terhadap hama rayap (Albuquerque *et al.*, 2012; Coelho *et al.*, 2007). Mekanisme lektin dalam membunuh serangga hama juga telah diketahui, yaitu melibatkan interaksi dengan *Glyco-conjugate* yang berada di sepanjang saluran pencernaan serangga, resisten terhadap proteolisis, dan berikatan dengan enzim-enzim pencernaan. Pengaruhnya akan berujung pada kerusakan morfologis saluran pencernaan, gangguan terhadap epitel usus, dan matriks peritrofik serta penghambatan sekaligus stimulasi aktivitas enzim yang menyebabkan ketidakseimbangan metabolisme dan ketidakserasan nutrisi serta perilaku makan (Coelho *et al.*, 2007; Napoleao *et al.*, 2013). Pada rayap, senyawa ini bersifat sangat toksik terhadap rayap kasta pekerja dan prajurit, yaitu menghambat aktivitas enzim tripsin di saluran pencernaan rayap dan menstimulasi aktivitas asam fosfatase dan endoglukanase sehingga secara umum mengakibatkan kerusakan fisiologis yang fatal pada rayap (Albuquerque *et al.*, 2012).

Sejauh ini, contoh efek kandungan lektin pada gandum terhadap hamanya yang telah dilaporkan adalah bentuk interaksi spesifik antara gen resistensi pada gandum dengan hama lalat Hessian (*Mayetiola destructor* (Say)). Dilaporkan bahwa *lectin-like gene* yang terdapat pada gandum merupakan salah satu faktor resisten yang dapat menghindarkan tanaman gandum dari infestasi lalat *M. destructor* karena menyebabkan inkompatibilitas antara gen resisten pada gandum dengan lalat yang avirulen. Pada tanaman gandum yang resisten, larva dari lalat avirulen yang menetas tidak mampu berkembang lebih jauh dan mati dalam kurun waktu tiga hari setelah menetas (Williams *et al.*, 2002). Namun demikian, untuk memastikan apakah benar lektin yang berperan sebagai faktor utama yang menyebabkan tingginya mortalitas *S. zeamais* dalam penelitian ini masih memerlukan penelitian lebih lanjut.

Tabel 1. Rerata mortalitas (M), fertilitas (F), bobot populasi F_1 (W), lama perkembangan (D), dan lama paruh perkembangan (MD) *S. zeamais* pada varietas gandum.

Varietas	M (%)	F (ekor)	W (g)	MD (hari)	D (hari)
Anemos	0,00±0,000	47,67±5,508	0,0544±0,012	37,33±1,528	57,67±5,033
Combi	0,00±0,000	31,33±22,279	0,0320±0,024	40,00±1,000	64,33±8,327
Madonna	11,13±9,642	18,67±15,503	0,0213±0,017	43,67±4,726	57,67±7,767
Nandu	0,00±0,000	27,67±14,048	0,0358±0,019	37,67±1,528	61,67±14,468
Pasadena	5,57±9,642	15,67±10,116	0,0173±0,010	39,00±2,000	58,67±9,609
Perdix	22,23±9,584	31,33±14,189	0,0358±0,017	40,00±1,000	63,33±10,066
Picallo	16,70±0,000	14,33±4,04	0,0161±0,005	39,33±3,055	54,67±5,033
SDH Flaming	15,87±16,705	24,00±25,159	0,0211±0,017	39,67±2,082	54,00±2,646
Sit Nortrend	10,33±9,029	27,33±17,786	0,0283±0,018	44,00±4,583	62,00±13,528
SW Triso	5,57±9,642	45,33±33,020	0,0522±0,044	38,67±1,155	60,33±18,037
Sweta	11,13±9,642	24,00±17,059	0,0244±0,019	39,67±2,082	51,33±6,658
Tieros Wew	12,23±10,722	29,33±28,572	0,0315±0,031	38,33±2,082	54,00±19,053

Tabel 2. One-way ANOVA*.

Parameter	SS	MS	F	P-value
Fertilitas (F)	0,445584686	0,040507699	0,813718	0,6273163
Mortalitas (M)	0,924697496	0,084063409	2,0837711	0,0643285
Kehilangan hasil (WL)	0,417366594	0,037942418	0,6362871	0,7806072
Kerusakan biji (DG)	0,256057036	0,023277912	1,0181828	0,4606466
Lama perkembangan (D)	0,032136679	0,002921516	0,4236176	0,9304529
Waktu paruh perkembangan (MD)	142,8888889	12,98989899	2,007023	0,0744786
Bobot Populasi (B)	0,005091215	0,000462838	0,9908607	0,4813555
Bobot individu (Bi)	1,9373E-07	1,76118E-08	1,1568643	0,3648934
I-Dobie	4931,463227	12,98989899	2,007023	0,0744786
I-Pointe	0,946517092	0,086047008	1,0263486	0,4545697
I-Modif	7897,084907	717,9168097	1,0913169	0,4081457

* = taraf 5%, db = 35, F_{tab} = 2,216309.

Lama Waktu Perkembangan dan Waktu Paruh Perkembangan

Berdasarkan percobaan ini, lama waktu perkembangan *S. zeamais* berkisar antara 51,33-64,33 hari, dengan waktu perkembangan terpanjang diperoleh pada *S. zeamais* yang diintroduksikan ke gandum varietas Combi, yaitu sekitar 64,33 hari dan yang terpendek pada varietas Sweta, yaitu 51,33 hari. Sedangkan waktu paruh perkembangan ber variasi pada kisaran 37,33-44 hari, di mana waktu paruh perkembangan terlama pada hasil introduksi *S. zeamais* pada varietas Sit Nortrend dan terpendek pada varietas Anemos (Tabel 1).

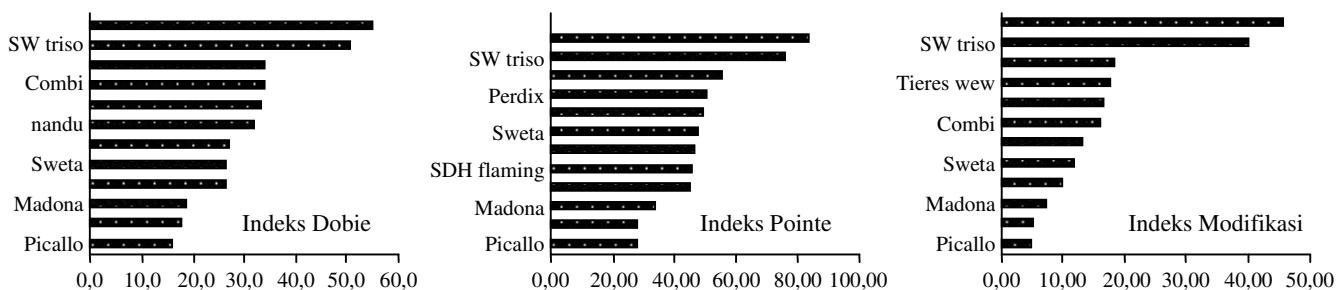
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa varietas yang memiliki lama waktu perkembangan tertinggi belum tentu waktu paruh perkembangannya juga tertinggi (*Combi versus Sit Nortrend*). Demikian pula sebaliknya, varietas dengan lama waktu perkembangan terpendek belum tentu waktu paruh perkembangannya terpendek (*Sweta versus Anemos*). Perbedaan ini mempengaruhi hasil pengklasifikasian kerentanannya. Pada Indeks Kerentan-

an Dobie, peubah waktu paruh perkembangan (MD) merupakan variabel utama, sedangkan Indeks Kerentanan Pointe maupun Modifikasi, indeks ditentukan dari lama waktu perkembangan (D). Gambar (1) dan Tabel 3 memperlihatkan perbedaan hasil dalam pengelompokan varietas berdasarkan ketiga macam indeks kerentanan tersebut. Meskipun demikian, hasil uji ANOVA taraf 5% tidak memperoleh pengaruh nyata varietas terhadap lama perkembangan maupun waktu paruh perkembangan (Tabel 2).

Kerusakan Biji dan Kehilangan Hasil

Kerusakan biji (DG) berbanding lurus dengan kehilangan hasil (WL), semakin besar persentase kerusakan biji, semakin besar kehilangan hasil. Pada percobaan ini, introduksi *S. zeamais* yang menyebabkan persentase kerusakan biji maupun kehilangan hasil terbesar diperoleh pada varietas Anemos (36%). Kerusakan biji terendah terdapat pada Madonna (14,07%), tetapi kehilangan hasil terkecil terdapat pada Picallo (8,67%) (Tabel 4).

Hasil penelitian ini relevan dengan introduksi *S. oryzae* pada gandum (Laskar dan Ghost, 2004;



Gambar 1. Distribusi tingkat ketahanan gandum berdasarkan tiga jenis indeks.

Tabel 3. Pengelompokan varietas berdasarkan tiga macam indeks kerentanan*.

	Indeks Dobie	Indeks Modif	Indeks Pointe
Picallo	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Pasadena	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Madonna	■■■■■	■■■■■	■■■■■
SD Flaming	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Sweta	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Sit Nortrend	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Nandu	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Tieros Wew	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Combi	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Perdix	■■■■■	■■■■■	■■■■■
SW Triso	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Anemos	■■■■■	■■■■■	■■■■■

■ = sangat rentan, ■■ = rentan, ■■■ = agak tahan, ■■■■ = tahan. *makin ke atas, urutan semakin tahan.

Saljoqi *et al.*, 2002; Sharma *et al.*, 2005) dan *S. granarius* pada gandum (Mebarkia *et al.*, 2010) bahwa varietas gandum yang diinfestasi kedua spesies tersebut memperlihatkan respon ketahanan yang berbeda-beda. Faktor yang mempengaruhi perbedaan respon gandum terhadap introduksi/ infestasi *S. zeamais*, di antaranya ialah perbedaan kandungan nutrisi (karbohidrat, protein, lemak), maupun senyawa yang bersifat antibiosis pada varietas gandum tersebut.

Ketahanan varietas Gandum yang diinfestasi *Rhyzopertha dominica* ditentukan oleh kandungan protein yang rendah, tetapi tinggi kandungan karbohidratnya (Batta *et al.*, 2007). Hal ini seperti yang dihasilkan Mebarkia *et al.* (2010) bahwa kandungan protein pada gandum memiliki korelasi positif dengan fertilitas dan indeks pertumbuhan *S. granarius*, tetapi kandungan karbohidrat dalam gandum berkorelasi sebaliknya. Mebarkia *et al.* (2010) kemudian mengelompokkan gandum dengan kandungan protein 9,80% dan karbohidrat 73,49% tergolong resisten; sedangkan yang memiliki kandungan protein 15,93% dan karbohidrat 68,15% termasuk sensitif (rentan).

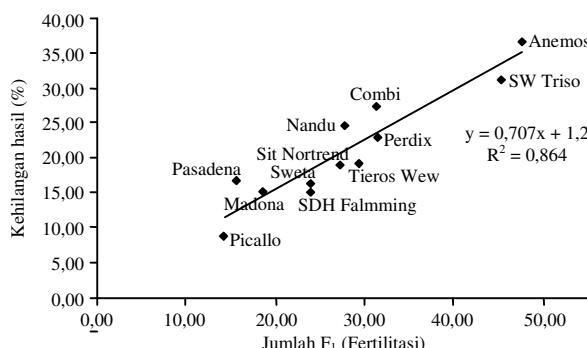
Pada percobaan ini, ada indikasi Tieros Wew memiliki kandungan gizi yang lebih bagus pengaruhnya terhadap pertambahan bobot tubuh *S. zeamais* dibandingkan dengan Sit Nortrend, indikasi lain kandungan gizi pada Combi lebih bersifat memicu reproduksi serangga daripada kebugarannya sehingga kuantitas turunan yang dihasilkan lebih tinggi, meskipun kualitas kebugaran per individu relatif rendah (bobot tubuh per individu rendah). Jika mengacu pada pendapat Mebarkia *et al.* (2010) bahwa protein berkorelasi negatif terhadap pertumbuhan dan perkembangan serangga hama, dengan demikian nutrisi yang menentukan tingginya reproduksi serangga pada varietas Tieros Wew maupun Combi bukan protein.

Relasi antara Fertilitas (F) dan Bobot Populasi (B), dan Bobot Individu (Bi) terhadap Kehilangan Hasil Gandum

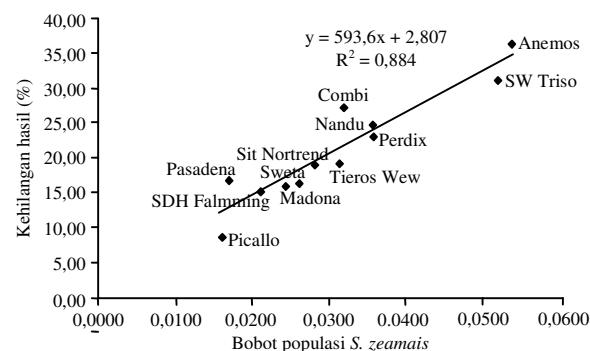
Relasi antara fertilitas (F) *S. zeamais* terhadap kehilangan hasil menunjukkan hubungan linier (Gambar 2), dengan derajat kemiringan garis mendekati 45° dan koefisien korelasi (R) = 0,93; sedang-

Tabel 4. Bobot populasi (B), bobot individu (Bi), persentase kerusakan biji (DG), dan kehilangan hasil (WL).

Varietas	B (g)	Bi (g)	DG (%)	WL (%)
Anemos	0,0544+0,012	0,001158+0,00014	36,126±2,790	36,593±7,435
Combi	0,0320+0,024	0,000997+0,00005	25,187±5,827	27,507±21,123
Madonna	0,0213+0,017	0,001129+0,00013	14,066±10,097	15,077±12,893
Nandu	0,0358+0,019	0,001251+0,00017	24,793±9,775	24,667±9,173
Pasadena	0,0173+0,010	0,001165+0,00015	16,000±6,960	16,963±5,879
Perdix	0,0358+0,017	0,001152+0,00002	23,303±8,223	23,143±13,213
Picallo	0,0161+0,005	0,001100+0,00012	14,124±3,549	8,670±2,845
SDH Flaming	0,0211+0,017	0,001011+0,00020	21,826±17,280	15,210±19,869
Sit Nortrend	0,0283+0,018	0,001016+0,00008	16,562±10,873	19,043±15,844
SW Triso	0,0522+0,044	0,001096+0,00015	22,992±9,971	31,267±28,630
Sweta	0,0244+0,019	0,001016+0,00008	17,266±10,210	16,113±11,705
Tieros Wew	0,0315+0,031	0,001060+0,00005	19,787±14,790	19,213±23,869



Gambar 2. Grafik hubungan fertilitas (jumlah F₁ *S. zeamais* yang muncul) terhadap persentase kehilangan hasil gandum .



Gambar 3. Grafik hubungan bobot populasi *S. zeamais* yang muncul terhadap persentase kehilangan hasil gandum.

kan derajat kemiringan grafik relasi antara bobot serangga dengan kehilangan hasil (Gambar 3) juga mendekati 45° dengan nilai koefisien korelasi yang lebih besar, yaitu 0,94. Berdasarkan nilai R dari kedua grafik tersebut dapat kita interpretasikan bahwa hubungan antara kehilangan hasil terhadap bobot populasi serangga lebih kuat dibandingkan terhadap fertilitas atau jumlah turunan yang muncul. Dengan demikian, pengaruhnya sebagai variabel penentu kehilangan hasil gandum perlu turut diperhitungkan. Analisis matriks korelasi pada parameter ini (Tabel 2) mengindikasikan bahwa antara bobot populasi dengan kehilangan hasil terdapat hubungan kuat yang saling mempengaruhi. Hal ini menunjukkan bahwa bobot *S. zeamais* memang dapat dijadikan indikasi tingkat kemampuan beradaptasi dan berkembang *S. zeamais* pada suatu varietas, dan tingkat kehilangan hasil gandum yang diinfestasi.

Selisih bobot populasi *S. zeamais* pada varietas Sit Nortrend dan Tieros Wew relatif kecil (Gambar 3). Kecenderungan yang sama juga terdapat pada varietas Nandu dan Perdix, populasi

S. zeamais pada kedua varietas tersebut memiliki bobot yang sama, yaitu 0,0358 g. Namun proporsi kehilangan hasilnya terpaut 1,5% lebih tinggi pada varietas Nandu. Demikian pula proporsi kerusakan biji pada varietas Nandu lebih besar dibandingkan dengan Perdix. Selisih bobot kecil tetapi kehilangan hasil terpaut cukup banyak, seperti terjadi pada Picallo dan Pasadena. Bobot populasi serangga pada dua varietas tersebut hanya terpaut 0,0012 g, tetapi selisih kehilangan hasil gandum mencapai 8,293%.

Hal yang lebih menarik pada varietas Nandu adalah fertilitasnya rendah dengan rerata populasi sebanyak 27,67 ekor (Tabel 1), namun memiliki rerata bobot individu *S. zeamais* terbesar dari seluruh varietas yang diuji, yaitu 0,001251 g (Tabel 4). Demikian pula varietas Combi, meskipun dari varietas ini diperoleh progeni yang cukup banyak, tetapi bobot individu serangga terendah dari semua varietas yang diuji, yaitu 0,000997 g (Tabel 4).

Dalam hal itu, meskipun tidak menutup kemungkinan terdapat kompetisi untuk memperebutkan sumber makanan antar progeni yang mem-

pengaruhi kualitas perkembangan progeni *S. zeamais*, tetapi menurut Vowotor *et al.* (2005) situs makan dan oviposisi tidak dipilih serangga atas dasar ada tidaknya kompetitor (pesaing), tetapi lebih ditentukan oleh faktor nutrisi pada inang (biji) yang mendukung untuk makan, oviposisi maupun perkembangan serangga.

Indeks Kerentanan (*Susceptibility Index*)

Percobaan ini membandingkan tiga metode penetapan Indeks Kerentanan yang digunakan, yaitu Indeks Dobie, Indeks Modif Pointe, dan Indeks Modifikasi. Selain Indeks Dobie, Indeks Kerentanan lainnya diadopsi dari penghitungan indeks pertumbuhan, kemudian dimodifikasi penentuan kisarannya. Hal ini seperti yang dilakukan oleh Sarin dan Sharma (1983) yang menggunakan indeks pertumbuhan untuk menilai pengaruh senyawa antibiosis pada varietas gandum.

Indeks Dobie merupakan pengklasifikasian tingkat kerentanan varietas terhadap hama gudang yang sudah umum digunakan, yaitu kerentanan ditentukan oleh lama waktu paruh dan fertilitas serangga. Pengklasifikasian skor kriteria ketahanan memiliki kisaran nilai yang relatif kecil, yaitu 0-11, varietas dengan indeks >11 tergolong sangat rentan. Dalam Indeks Dobie, bobot tubuh serangga pada populasi F_1 *S. zeamais* tidak dimasukkan dalam variabel hitung.

Dengan menggunakan Indeks Pertumbuhan Pointe (I-Pointe) dan Indeks Modifikasi (I-Modif), dikembangkan skoring ketahanan yang relatif lebih besar kisarannya. Penetapan kisaran ini didasarkan pada pemikiran bahwa varietas yang resisten mutlak dengan infestasi hama 0% sulit diperoleh, mengingat hama gudang secara umum memiliki kemampuan beradaptasi dengan media hidupnya selama berada pada periode penyimpanan. Oleh karena itu, pada Indeks Pointe diadopsi kisaran yang lebih lebar, di mana kriteria yang digunakan ialah tahan (0-20%), agak tahan (20-40%), rentan (40-60%), sangat rentan (>60%). Sedangkan untuk Indeks Modif, dikembangkan kisaran tahan (0-5), agak tahan (5<Indeks<10), rentan (10<Indeks<20), dan sangat rentan (>20).

Selain itu, ke dalam Indeks Modifikasi dimasukkan bobot serangga sebagai salah satu varia-

bel hitung dengan argumen bahwa bobot serangga justru lebih kuat pengaruhnya untuk menilai kehilangan hasil dibandingkan menggunakan jumlah kemunculan F_1 . Kriteria penentuan ketahanan ini telah teruji berdasarkan analisis matriks korelasi yang diuraikan di bagian akhir pembahasan (Tabel 2). Berdasarkan grafik hubungan antara peubah biologis serta analisis matriks korelasi, terlihat korelasi positif antara mortalitas serangga dengan kerusakan biji, fertilitas, bobot serangga, kehilangan hasil gandum, lama waktu paruh, lama perkembangan penuh, dan Indeks Kerentanan (I-Dobie, I-Pointe, I-Modif) (Tabel 5 dan Gambar 4). Sebaliknya, semua peubah tersebut berkorelasi negatif dengan mortalitas serangga dan waktu paruh perkembangan serangga. Dengan demikian, bobot populasi serangga perlu diperhitungkan dalam pengelompokan varietas dengan kriteria ketahanan yang lebih spesifik.

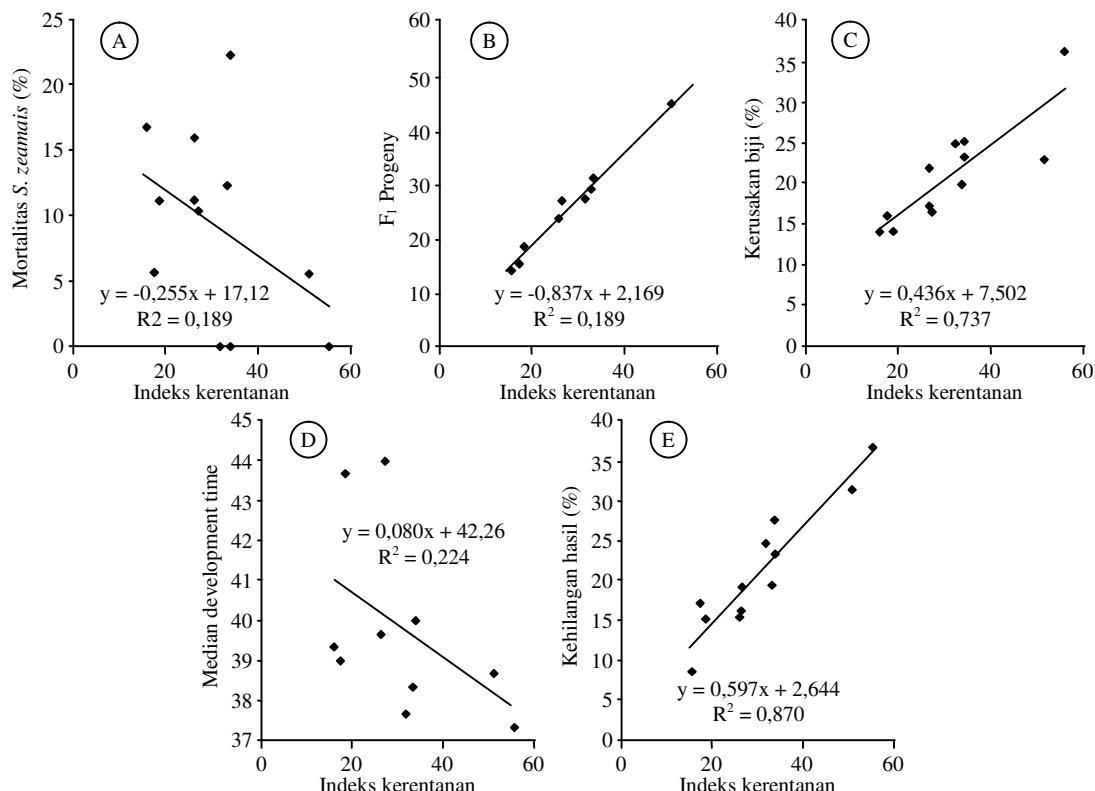
Hubungan antara ketiga jenis indeks kerentanan terhadap kehilangan hasil dan kerusakan biji (Tabel 6) memperlihatkan bahwa varietas dengan kehilangan hasil terkecil juga merupakan varietas yang paling rendah kerentanannya berdasarkan ketiga indeks, yaitu Picallo. Namun terdapat sedikit perbedaan hasil terhadap persentase kerusakan biji. Varietas Madonna merupakan varitas dengan kerusakan biji terendah. Pengelompokan varietas dengan ketahanan terhadap hama gudang berdasarkan Indeks Dobie menempatkan semua varietas yang diuji tergolong sangat rentan dengan nilai indeks lebih dari 11 (Tabel 3) dan dua varietas paling rentan adalah Anemos dan SW Triso.

Pointe varietas Nandu menempati urutan ke-9 dengan ketahanan lebih rendah dari Tiers Wew, tetapi berdasarkan Indeks Modifikasi, varietas Nandu lebih tahan dibandingkan Tiers Wew.

Indeks Pointe maupun Indeks Modifikasi menggunakan indeks pertumbuhan (*growth index*) dalam penghitungannya. Hal ini berimplikasi pada perbedaan pengelompokan berdasarkan kriteria ketahanan varietas terhadap infestasi hama gudang bila dibandingkan dengan Indeks Dobie. Sedangkan pada Indeks Modifikasi, hasil pengelompokan menjadi lebih selektif karena memasukkan faktor bobot serangga dalam variabel penghitungan. Berdasarkan hasil klasifikasi Indeks Modifikasi ini, urutan kerentanan varietas gandum yang diuji dari yang

Tabel 5. Matriks korelasi antar variabel pengamatan ambang 5%.

Variabel	M	DG	F	WL	MD	FD	B	I-Modif	I-Pointe	I-Dobie
M	1									
DG	-0,50174	1								
F	-0,4106	0,829579	1							
WL	-0,63093	0,880436	0,930015	1						
MD	0,323567	-0,57862	-0,37972	-0,41363	1					
FD	-0,31357	0,290913	0,310229	0,500856	0,174171	1				
B	-0,45276	0,818049	0,977155	0,940256	-0,42376	0,362005	1			
I-Modif	-0,43818	0,813599	0,970541	0,905525	-0,45366	0,207876	0,974017	1		
I-Pointe	-0,37364	0,813538	0,981634	0,874751	-0,42942	0,125514	0,946905	0,969251	1	
I-Dobie	-0,43482	0,858885	0,994003	0,932932	-0,4736	0,264553	0,979614	0,980143	0,984439	1



Gambar 4. Relasi antara Indeks Kerentanan terhadap A = mortalitas, B = F₁ progeny (fertilitas), C = kerusakan biji, D = median development time, E = kehilangan hasil.

paling rentan dengan mempertimbangkan kemungkinan adanya aspek antibiosis pada gandum yang diuji ialah sebagai berikut, Anemos, SW Triso, Perdix, Tiers Wew, Nandu, Combi, Sit Nortrend, Sweta, SDH Flaming, Madonna, sedangkan yang paling tahan adalah Picallo dan Pasadena.

Relasi dan Interaksi antara Indeks Kerentanan terhadap Mortalitas, Kerusakan Biji, Fertilitas, Kehilangan Hasil, dan Waktu Paruh Perkembangan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa varietas uji tidak berpengaruh nyata terhadap perkembangan *S. zeamais*. Selain faktor nutrisi (karbohidrat dan protein), perkembangan *S. zeamais* pada gandum juga dipengaruhi oleh keberadaan senyawa antibiosis. Serealia secara umum memiliki beberapa senyawa biokimia yang bersifat antibiosis terhadap

Tabel 6. Indeks Dobie (I-Dobie), Indeks Pertumbuhan Pointe (I-Pointe), dan Indeks Modifikasi (I-Modif) pada variasi kehilangan hasil (WL) dan kerusakan biji (DG) beberapa varietas gandum.

Varietas	WL	DG	I-Dobie	I-Pointe	I-Modif
Anemos	36,59	36,13	55,45	82,66	44,99
Combi	27,51	25,19	34,02	48,70	15,57
Madonna	15,08	14,07	18,57	32,37	6,91
Nandu	24,67	24,79	31,90	44,86	16,08
Pasadena	16,96	16,00	17,45	26,70	4,62
Perdix	23,14	23,30	34,02	49,47	17,70
Picallo	8,67	14,12	15,83	26,22	4,23
SDH Flaming	15,21	21,83	26,28	44,44	9,36
Sit Nortrend	19,04	16,56	26,98	44,09	12,46
SW Triso	31,27	22,99	50,92	75,14	39,22
Sweta	16,11	17,27	26,28	46,75	11,42
Tieros Wew	19,21	19,79	33,23	54,32	17,09

hama gudang, antara lain asam *hydroxycinnamic*, protein inhibitor, dan enzim peroksidase (Bergvinson dan Garcia-Lara, 2004). Asam *hydroxycinnamic* dan derivatifnya antara lain senyawa-senyawa fenolik dan produk oksidatif merupakan senyawa yang bersifat antibiosis yang umum ditemukan dalam tanaman. Pada serealia senyawa tersebut merupakan penyusun struktur dinding sel dan berperan dalam sistem pertahanan (Bergvinson dan Garcia-Lara, 2004).

Berdasarkan grafik hubungan antara peubah biologis diketahui adanya hubungan nyata antar berbagai parameter yang diuji (Tabel 5 dan Gambar 4). Kerusakan biji, fertilitas, bobot serangga, kehilangan hasil gandum, lama waktu paruh, lama perkembangan penuh, dan indeks kerentanan (I-Dobie, I-Pointe, I-Modif) memiliki hubungan linier dan korelasi yang positif (Tabel 5 dan Gambar 4). Sebaliknya, semua parameter tersebut berkorelasi negatif dengan mortalitas serangga dan waktu paruh perkembangan serangga. Informasi tentang kerusakan biji, waktu paruh perkembangan, bobot serangga, dan indeks kerentanan tersebut sangat diperlukan dalam menentukan resistensi terhadap serangga hama.

Pada pengujian resistensi varietas jagung terhadap *S. zeamais*, Tefera *et al.* (2013) melaporkan bahwa resistensi dapat diketahui melalui pengukuran salah satu dari peubah indeks kerentanan, waktu paruh perkembangan, jumlah serangga, kerusakan biji, dan penurunan berat badan. Pada jagung hibrida tahan yang memiliki gen resistan dari salah satu tetuanya, ketika diuji ketahanannya terhadap *S. zeamais* menunjukkan penurunan

kerusakan biji, penurunan kehilangan berat, dan penurunan perkembangan serangga.

KESIMPULAN

Pengembangan gandum yang tahan terhadap infestasi *S. zeamais* merupakan komponen penting dalam strategi pengendalian hama terpadu dalam rangka menekan kehilangan hasil pada saat pasca panen.

Evaluasi ketahanan beberapa varietas gandum terhadap *S. zeamais* dengan melakukan modifikasi terhadap penghitungan indeks ketahanan yang diterapkan ternyata menambah variasi hasil kriteria ketahanan yang diperoleh. Pemasukan peubah ‘bobot serangga’ dalam penghitungan tersebut signifikan pengaruhnya dalam memodifikasi penentuan suatu varietas ke dalam kriteria ketahanan tertentu. Indeks Modifikasi yang diterapkan dalam penelitian ini terbukti dapat mengelompokkan varietas secara lebih selektif dibandingkan dengan indeks ketahanan lainnya.

Hasil evaluasi ini selanjutnya dapat dimanfaatkan dan dikembangkan lebih lanjut dalam kegiatan pemuliaan, terutama sebagai bahan tetua bagi perakitan varietas gandum tahan cekaman hama gudang *S. zeamais*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Sdri. Higa Afza, SSi dan Ibu Prof. Dr. Ida Hanarida atas perkenannya mengakses varietas gandum untuk bahan penelitian ini, serta Sdr. Teny H. Iskandar

(teknisi benih Bank Gen BB Biogen) atas bantuan-nya dalam persiapan benih.

DAFTAR PUSTAKA

- Abebe, F., T. Tefera, S. Mugo, Y. Bayene, dan S. Vidal. 2009. Resistance of maize varieties to the maize weevil *Sitophilus zeamais* (Motsch.) (Coleoptera: Curculionidae). African J. Biotech. 8:5937-5943.
- Albuquerque, L.P., G.M.S. Santana, E.M. Pontual, T.H. Napoleão, L.C.B.B. Coelho, P.M.G. Paiv. 2012. Effect of *Microgramma vaccinifolia* rhizome lectin on survival and digestive enzymes of *Nasutitermes corniger* (Isoptera, Termitidae). International Biodeterioration and Biodegradation 75:158-166.
- Alfonso-Rubi, J., F. Ortega, P. Castanera, P. Carbonero, and I. Diaz. 2003. Transgenic expression of trypsin inhibitor Cme from barley in indica and japonica rice, confers resistance to the rice weevil *Sitophilus oryzae*. Transgenic Res. 12:23-31.
- Anggara, A.W. dan Sudarmaji. 2009. Hama Pasca Panen Padi dan Pengendaliannya. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Sukamandi. hlm. 441-472.
- Batta, Y., A. Saleh, and S. Salameh. 2007. Evaluation of the susceptibility of wheat cultivars to lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica* F.), (Coleoptera: Bostrichidae). Arab. J. Pl. Prot. 25:159-162.
- Bergvinson, D.J. 2001. Storage pest resistance in maize. Maize Program Maize Research Highlights 1999-2000. CIMMYT. Mexico D.F., Mexico. p. 32-39.
- Bergvinson, D.J. 2004. Opportunities and challenges for IMP in developing countries. p. 281-312. In O. Koul, G.S. Dhaliwal, and G.W. Cuperus (eds.) Integrate Pest Management. Potential, Constraints and Challenges. CAB International, England.
- Bergvinson, D. and Garcia-Lara. 2004. Genetic approaches to reducing losses of stored grain to insects and diseases. Current Opinion Plant Biology 7:480-485.
- Chilosi, G., C. Caruso, C. Caporale, L. Leonardi, L. Bertaini, A. Buzi, M. Nobile, P. Magro, and V. Buonocore. 2000. Antifungal activity of a Bowman-Birk-type trypsin inhibitor from wheat kernel. J. Phytopathol. 148:477-481.
- Coelho, M.B., S. Marangoni, and M.L.R. Macedo. 2007. Insecticidal action of *Annona coriacea* lectin against the flour moth *Anagasta kuehniella* and the rice moth *Corcyra cephalonica* (Lepidoptera: Pyralidae). Comparative Biochemistry and Physiology Part C. Toxicology and Pharmacology 146(3):406-414.
- Dhliwayo, T. and K.V. Pixley. 2001. Breeding resistance to maize weevil (*Sitophilus zeamais* motsch): Is it possible? Seventh eastern and Southern Africa Regional Maize Conference. 11-15th February 2001. p. 134-138.
- Dobie, P. 1974. The laboratory assessment of the inherent susceptibility of maize varieties to post-harvest infestation by *Sitophilus zeamis*. J Stored Product Research 10:183-1997.
- Dobie, P. 1977. The contribution of the tropical stored product centre to the study of insect resistance in stored maize. Tropical Stored Product Information 34:7-22.
- FAO. 2009. Livestock, food security and poverty reduction. In the State of Food and Agriculture 2009 Part 1: Livestock in the balance. Electronic Publishing Policy and Support Branch Communication Division FAO. <http://www.fao.org/docrep/012/i0680e/i0680e03.pdf>. [Diakses 16 Februari 2013].
- Figueira, E.L.Z., E.Y. Hirooka, E. Mendiola-Olaya, and A. Blanco-Labra. 2003. Characterization of a hydrophobic amylase inhibitor from corn (*Zea mays*) seeds with activity against amylase from *Fusarium verticilloides*. Phytopathology 93:917-922.
- García-Lara, S. and D.J. Bergvinson. 2007. Integral program to reduce post-harvest losses in maize. Agricultura Técnica de México 33:181-189.
- García-Lara, S., J.T. Arnason, D. Díaz-Pontones, E. Gonzalez, and D.J. Bergvinson 2007. Soluble peroxidase activity in maize endosperm associated with maize weevil resistance. Crop Sci. 47:1125-1130.
- Hoffman, J.E. 2000. The Rice manual. Franfurt: AgrExpo. p. 40-41.
- Laskar, N. and S.K. Ghosh. 2004. Relative susceptibility of some wheat *Triticum aestivum* L. against *Sitophilus oryzae* L. Environ. Ecol. 22:411-413.
- Mebarkia, A., Y. Rahbe, A. Guechi, A. Bouras, and M. Makhlouf. 2010. Susceptibility of twelve soft wheat varieties (*Triticum aestivum*) to *Sitophilus granarius* (L) (Coleoptera: Curculionidae). Agric and Biology J. North America 1(4):571-578.
- Napoleão, T.H., B.R. Belmonte, E.V. Pontual, L.P. Albuquerque, R. Araújo Sá, L.M. Paiva, L.C.B.B. Coelho, and P.M.G. Paiva. 2013. Deleterious effects of Myracrodruon urundeuva leaf extract and lectin on the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae). J. Stored Products Research 54:26-33.
- Saljoqi, A.U.R., M.K. Afridi, A. Sajjad, and R. Abdur. 2002. Relative resistance of some wheat cultivars to *Sitophilus oryzae* L in stored wheat grains. Sarhad. J. Agr. 18:237-240.
- Sarin, K. and K. Sharma. 1983. Study of antibiosis in wheat varieties. Part I. Correlation of diapause and growth index. Bull. Grain Tech. 21:24-30.

- Schimoler-O'Rourke, R., M. Richardson, and C.P. Sellitrennikoff. 2001. Zeamatin inhibits trypsin and α -amylase activities. *Appl. Environ. Microbiol.* 67:2365-2366.
- Sharma, R.P., M. Mohamad, S.K. Paul, B. Amitava, and S. Maity. 2005. Susceptibility of different varieties of wheat against *Sitophilus oryzae* l (Coleoptera: Curculionidae). *Envir. Ecol.* 23:90-91.
- Surtikanti. 2004. Kumbang bubuk *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidae) dan Strategi Pengendaliannya. *J. Litbang Pertanian* 23(4):123-129.
- Tefera, T., F. Kanampiu, H.D. Groote, J. Hellin, S. Mugo, S. Kimenju, Y. Beyene, P.M. Boddupalli, B. Shiferaw, and M. Banziger. 2011. The metal silo: An effective grain storage technology for reducing post-harvest insect and pathogen losses in maize while improving smallholder farmers' food security in developing countries. *Crop Protection* 30(3):240-245.
- Tefera, T., G. Demissie, S. Mugo, and Y. Beyene. 2013. Yield and agronomic performance of maize hybrids resistant to the maize weevil *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Crop Protection* 46:94-99.
- Throne, J.E. 1994. Life history of immature maize weevils (Coleoptera: Curculionidae) on corn stored at constant temperatures and relative humidities in the laboratory. *Environmental Entomology* 23:1459-1471.
- Vowotor, K.A., W.G. Meikle, J.N. Ayertey, and R.H. Markham. 2005. Distribution of and association between the larger grain borer *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) and the maize weevil *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) in maize stores. *J Stored Products Research* 41:498-512.
- Williams, C.E., C.C. Collier, J.A. Nemacheck, C. Liang, and S.E. Cambron. 2002. A lectin-like wheat gene responds systemically to attempted feeding by avirulent first-instar hessian fly larvae. *J. Chemical Ecology* 28(7):1411-1428.
- Winkler, R. and S. García-Lara. 2010. Activity-directed identification of plant peroxidase in 1-D polyacrylamide gels using sequential staining in combination with nanoLC-MS/MS. *Molecular BioSystems* 6:1810-1811.
- Worden, G.C. 2004. Wheat-Marketing. *Encyclopedia of Grain Science*. Canadian Wheat Board, Winnipeg, MB, Canada. p. 375-383.