

Interaksi Genetik x Lingkungan dan Variabilitas Genetik Galur Gandum Introduksi (*Triticum aestivum* L.) di Agroekosistem Tropika

Amin Nur^{1*}, Muh. Azrai¹, dan Trikoesoemaningtyas²

¹Balai Penelitian Tanaman Serealia, Jl. Dr. Ratulangi No. 274, Maros 90514

Telp. (0411) 318148, 371529, 371016; Faks. (0411) 371961; *E-mail: iceriamin76@gmail.com

²Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Diajukan: 10 Juli 2014; Diterima: 22 Oktober 2014

ABSTRACT

Genetic-Environment Interaction and Genetic Variability of Introduced Wheat Line in Tropical Agroecosystem.

Amin Nur, Muh. Azrai, and Trikoesoemaningtyas. The focus of wheat research in Indonesia is to obtain new potential wheat lines that are adapted to low-mid elevation and heat tolerant. This study was aimed to obtain information on the effect of interaction of season x line x location and genetic variability of wheat lines in tropical agroecosystem. This study was conducted at the Seameo-Biotrop (<400 masl) and Indonesian Ornamental Crops Research Institute-Cipanas (>1,000 masl) experimental field for two seasons. The results showed that there was an effect of interaction of season x line x location on plant height, days to flowering, number of spikelet and floret, seed/head weight, rate of grain filling, yield, flag leaf width, stomata density, chlorophyll b, and leaf greenness. Meanwhile several characters were only influenced by the interaction of line x location, they were yield component characters, ie. empty floret percentage, number of seed/ head, 1,000 seed weight, number of head/m² and seed/plant weight. Seven characters were not influenced by interaction of neither season x line x environment nor line x location, they were number of productive tillers, head length, number of seed/head, chlorophyll a, ratio of chlorophyll a/b, total chlorophyll, and leaf thickness. The characters that have high heritability and wide genetic variability for the two analysis models were the number of spikelet.

Keywords: Genetic-environment interaction, heat tolerant, genetic variability, tropical agroecosystems.

ABSTRAK

Interaksi Genetik x Lingkungan dan Variabilitas Genetik Galur Gandum Introduksi (*Triticum aestivum* L.) di Agroekosistem Tropika. **Amin Nur, Muh. Azrai, dan Trikoesoemaningtyas.** Penelitian gandum di Indonesia diarahkan untuk mendapatkan galur-galur potensial yang dapat beradaptasi pada dataran menengah-rendah <700 m dpl dan toleran terhadap suhu tinggi. Penelitian bertujuan untuk memperoleh informasi tentang pengaruh interaksi musim x galur x lokasi dan variabilitas genetik galur gandum di

agroekosistem tropika. Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Seameo-Biotrop (<400 m dpl) dan Kebun Percobaan Balithi-Cipanas (>1.000 m dpl) masing-masing dalam dua musim tanam. Hasil penelitian menunjukkan terdapat pengaruh interaksi musim x lokasi x galur terhadap karakter tinggi tanaman, umur berbunga, jumlah spikelet, jumlah floret, bobot biji/malai, laju pengisian biji, hasil, luas daun bendera, kerapatan stomata, klorofil b, dan kehijauan daun. Karakter yang tidak dipengaruhi oleh interaksi musim x galur x lokasi, tapi hanya dipengaruhi oleh interaksi galur x lokasi adalah karakter komponen hasil, persentase floret hampa, jumlah biji/malai, bobot 1.000 biji, jumlah malai/m², dan bobot biji/tanaman. Terdapat karakter yang tidak dipengaruhi oleh interaksi musim x galur x lokasi maupun interaksi galur x lokasi, yaitu jumlah anakan produktif, panjang malai, jumlah biji/tanaman, klorofil a, nisbah klorofil a/b, klorofil total, dan ketebalan daun. Karakter yang memiliki nilai heritabilitas tinggi dan diikuti oleh keragaman genetik yang luas pada dua model analisis adalah karakter jumlah spikelet.

Kata kunci: Interaksi genetik x lingkungan, toleran suhu tinggi, keragaman genetik, agroekosistem tropis.

PENDAHULUAN

Pengembangan gandum di Indonesia sangat potensial karena permintaan gandum setiap tahun sebagai bahan baku pangan sangat tinggi. Data BPS tahun 2013 menunjukkan bahwa impor biji gandum tahun 2011 mencapai 5,4 juta ton, yaitu berasal dari Australia sebanyak 3,7 juta ton, Canada 982.200 ton, dan Amerika Serikat 747.900 ton. Sementara impor tepung terigu tahun 2011 mencapai 680.100 ton dengan nilai 281,7 juta dolar AS (BPS, 2013) yang sumber utamanya berasal dari Turki sebanyak 387.400 ton dan Sri Lanka 207.800 ton serta sisanya dari Ukraina, Belgia, dan Australia. Sementara tahun 2012 impor biji gandum mencapai 6,3 juta ton dengan nilai 2,3 miliar dolar AS. Gandum dapat diolah menjadi berbagai produk makanan seperti roti, kue kering, biskuit, krupuk, mie, dan makaroni. Hasil sampingannya, yaitu gabah dan dedak digunakan sebagai pakan, sedangkan jerami gandum dapat dipakai sebagai bahan kerajinan

tangan. Konsumsi terbesar tepung terigu adalah rumah tangga sebesar 40% (bentuk mi basah atau mi kering), 25% untuk industri roti, 20% industri mi dadak (*instant mie*), 15% untuk industri *cake* dan biskuit, sisanya 5% untuk gorengan (Andnyana *et al.*, 2006).

Kendala pengembangan tanaman gandum di Indonesia adalah tanaman gandum berasal dari lingkungan subtropika dengan suhu (8–10°C) sehingga kurang sesuai dengan iklim di Indonesia pada dataran rendah-menengah. Daerah potensial untuk pengembangan gandum di Indonesia sebagian besar berada di daerah ketinggian di atas 1.000 m dpl dengan suhu udara yang rendah (15–20°C). Pada ketinggian tersebut tanaman gandum bersaing dengan tanaman hortikultura yang memiliki nilai ekonomis jauh lebih tinggi daripada gandum. Pengembangan gandum di Indonesia dapat dilakukan dengan merakit varietas gandum yang dapat beradaptasi baik di dataran rendah-menengah toleran suhu tinggi dengan suhu rata-rata (25–35°C) (Handoko, 2007).

Faktor pembatas pengembangan tanaman gandum di dataran rendah berupa tingginya cekaman lingkungan sehingga interaksi genetik x lingkungan sangat menentukan dalam pemilihan galur-galur yang dapat dikembangkan pada dataran rendah-menengah yang toleran terhadap suhu tinggi. Selain itu, musim hujan juga berpengaruh besar terhadap pengisian biji. Besarnya pengaruh lingkungan terhadap pertumbuhan tanaman dan adanya perbedaan tanggapan/respon tiap galur terhadap lingkungan memerlukan kajian khusus mengenai interaksi galur x lingkungan. Menurut Allard dan Bradshaw (1964), interaksi galur x lingkungan bersifat kompleks karena bervariasi komponen faktor lingkungan. Besarnya pengaruh interaksi genetik x lingkungan menjadikan sulitnya penentuan galur yang stabil dan spesifik lingkungan.

Dua jenis cekaman utama yang dihadapi tanaman gandum adalah kekeringan dan suhu tinggi. Efek suhu tinggi menyebabkan bunga rontok, aborsi, pengurangan viabilitas butir tepung sari, gangguan pembentukan tabung polen dalam tangkai putik, dan mengurangi ukuran biji. Menurut Stone (2001), pengaruh suhu tinggi terhadap perkembangan bulir pada sereal meliputi laju perkembangan bulir yang lebih cepat, penurunan bobot bulir, biji keriput, berkurangnya laju akumulasi pati, dan perubahan komposisi lipid dan polipeptida.

Tujuan penelitian adalah untuk memperoleh informasi tentang pengaruh interaksi musim x galur x lokasi dan keragaman genetik galur gandum di agroekosistem tropika.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Seameo-Biotrop (<400 m dpl) dan Kebun Percobaan Balithi, Cipanas (>1000 m dpl) masing-masing dua musim tanam. Penelitian pertama berlangsung mulai Mei-September 2010, sedangkan penelitian kedua berlangsung mulai Maret-Juli 2011. Penelitian dilaksanakan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 3 ulangan, ukuran petak 1,5 m x 5 m. Materi evaluasi terdiri atas galur Oasis/Skauz//4*BCN, HP 1744, Laj/MO88, Rabe/MO88 dari Cimmyt, H-21, G-21, G-18 dari India, Menemen, Basribey dan Alibey dari Turki, dan varietas nasional (Selayar dan Dewata) sebagai pembanding. Tiap galur ditanam 6 baris sepanjang 5 m dengan jarak tanam antarbaris 25 cm. Benih dilarik dalam baris. Tanaman dipupuk dengan urea 150 kg/ha, SP36 200 kg/ha, dan KCl 100 kg/ha pada umur 10 hari setelah tabur (hst) dan pemupukan kedua dengan urea 150 kg/ha pada umur 30 hst. Sebelum ditanam, benih diberi insektisida *carbaryl* 85% dan pada saat tanam lubang larikan diberi *carbofuran* 17 kg/ha.

Pengamatan karakter agronomi meliputi tinggi tanaman (cm), jumlah anakan produktif, umur berbunga (hari), umur panen (hari), panjang malai (cm), jumlah spikelet/malai, jumlah floret hampa/malai, persentase floret hampa/malai, jumlah biji/malai, bobot biji(g)/malai, jumlah malai/m², bobot 1.000 biji (g), dan hasil (t/ha). Karakter fisiologis adalah luas daun (cm²), kerapatan stomata (mm²), klorofil a (μmol/cm²), klorofil b (μmol/cm²), klorofil a/b (μmol/cm²), klorofil total (μmol/cm²), ketebalan daun (nm) dan kehijauan daun (unit).

Data dianalisis dengan menggunakan analisis ragam, ragam gabungan, dan nilai heritabilitas. Analisis dilakukan mengikuti metode yang dikemukakan oleh Singh dan Chaudhary (1985) dan Falconer (1989).

Analisis ragam dan kuadrat tengah harapan karakter agronomi gandum introduksi pada masing-masing lokasi disajikan pada Tabel 1. Ragam gabungan musim, galur, dan lokasi menggunakan model acak disajikan pada Tabel 2 dan analisis ragam gabungan lokasi dan galur model acak disajikan pada Tabel 3.

Pendugaan komponen ragam terdiri atas ragam genetik, ragam fenotipik, ragam musim, ragam lingkungan, dan ragam interaksi. Menurut Hallauer dan Miranda (1995), ragam fenotipik (σ^2_P), ragam genotipik (σ^2_G), ragam musim (σ^2_M), ragam lokasi (σ^2_L), dan ragam interaksi (σ^2_{GML}) dihitung sebagai berikut:

$$\sigma^2_P = \sigma^2_g + \sigma^2_{gl}/e + \sigma^2_{gm}/m + \sigma^2_{glm}/lm + \sigma^2_{el}/rlm; \sigma^2_G = M_g - (M_{mg} + M_{lg} - M_{mlg})/rml; \sigma^2_{gl} = (M_{lg} - M_{mlg})/rm; \sigma^2_{gm} = (M_{mg} - M_{mlg})/rl; \sigma^2_{gml} = (M_{mlg} - M_{ga})/r; \sigma^2_l = M_{ga}$$

Tabel 1. Analisis ragam dan kuadrat tengah harapan karakter agronomis gandum introduksi pada masing-masing lokasi.

Sumber keragaman	Db	KT	KT harapan
Ulangan	r-1		
Galur	g-1	KT ₁	$\sigma^2 + r\sigma_g^2$
Galat	(g-1) (r-1)	KT ₂	σ^2

r = banyaknya ulangan, g = banyaknya galur, σ_g^2 = ragam galur, σ^2 = ragam galat.

Tabel 2. Ragam gabungan musim, galur, dan lokasi menggunakan model acak.

Sumber keragaman	Derajat bebas	Kuadrat tengah	Kuadrat tengah harapan
Musim (m)	(m-1)	M _m	-
Lokasi (l)	(l-1)	M _l	-
Musim x Lokasi (ml)	(m-1) (l-1)	M _{ml}	-
Ulangan/ml	(r-1) ml	M _{u/ml}	-
Galur (g)	(g-1)	M _g	$\sigma^2 + r\sigma_{glm}^2 + r\sigma_{gm}^2 + r\sigma_{gl}^2 + r\sigma_{gml}^2$
Musim x Galur (mg)	(m-1) (g-1)	M _{mg}	$\sigma^2 + r\sigma_{glm}^2 + r\sigma_{gm}^2$
Lokasi x Galur (lg)	(l-1) (g-1)	M _{lg}	$\sigma^2 + r\sigma_{glm}^2 + r\sigma_{gl}^2$
Musim x Lokasi x Galur (mlg)	(m-1) (l-1) (g-1)	M _{mlg}	$\sigma^2 + r\sigma_{glm}^2$
Galat	(g-1) (r-1) ml	M _{ga}	σ^2

σ_g^2 = ragam galur, σ_m^2 = ragam musim, σ_l^2 = ragam lingkungan (galat), σ_{gme}^2 = ragam interaksi.

Tabel 3. Analisis ragam gabungan lokasi dan galur model acak.

Sumber keragaman	Derajat bebas	Kuadrat tengah	Kuadrat tengah harapan
Lokasi (l)	l-1	M _l	$\sigma^2 + g \sigma_{rl}^2 + gr \sigma_l^2$
Ulangan/Lokasi	l (r-1)	M _{u/l}	$\sigma^2 + g \sigma_{rl}^2$
Galur (g)	(g-1)	M _g	$\sigma^2 + r \sigma_{gl}^2 + rl \sigma_g^2$
Galur x Lokasi	(g-1) (l-1)	M _{gl}	$\sigma^2 + r \sigma_{gl}^2$
Galat	l (g-1) (r-1)	M _{ga}	σ^2

σ_g^2 = ragam galur, σ_{gl}^2 = ragam interaksi, σ^2 = ragam galat.

Pendugaan komponen ragam terdiri atas ragam genetik, ragam fenotipik, ragam lingkungan, dan ragam interaksi. Menurut Hallauer dan Miranda (1995), ragam fenotipik (σ_P^2), ragam genotipik (σ_G^2), ragam lingkungan (σ_e^2), dan ragam interaksi (σ_{GL}^2) dihitung sebagai berikut:

$$\sigma_P^2 = \sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2/e + \sigma_{gm}^2/m + \sigma_{gl}^2/l; \sigma_g^2 = (M_g - M_{gl})/rl; \sigma_{gl}^2 = (M_{gl} - M_{ga})/r; \sigma_e^2 = M_{ga}$$

Menurut Stansfield (1983), nilai duga heritabilitas dan kriterianya dihitung menggunakan rumus:

$$h^2_{(bs)} = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_P^2} \times 100\%$$

Kriteria nilai heritabilitas:

$h^2 > 0,5$ = heritabilitas tinggi; h^2 antara 0,2–0,5 = heritabilitas sedang; $h^2 < 0,2$ = heritabilitas rendah.

Koefisien keragaman genetik diduga berdasarkan ragam genotipik (σ_G^2) dan luas atau sempitnya nilai keragaman genetik suatu karakter ditentukan berdasarkan standar deviasi ragam genetik yang diduga menurut rumus berikut:

$$\sigma(\sigma_G^2) = \sqrt{\frac{2}{(rlm)^2} \left(\frac{M_g^2}{db_g + 2} + \frac{M_{mg}^2}{db_{mg} + 2} + \frac{M_{lg}^2}{db_{lg} + 2} + \frac{M_{mlg}^2}{db_{mlg} + 2} \right)}$$

Dua musim beberapa lokasi

$$\sigma(\sigma_G^2) = \sqrt{\frac{2}{(rl)^2} \left(\frac{M_g^2}{db_g + 2} + \frac{M_{lg}^2}{db_{gl} + 2} \right)}$$

Satu musim beberapa lokasi

Kriteria koefisien keragaman genetik adalah apabila $\sigma_G^2 > 2 \sigma(\sigma_G^2)$ = keragaman genetiknya luas, sedangkan $\sigma_G^2 < 2 \sigma(\sigma_G^2)$ = keragaman genetiknya sempit (Pinaria *et al.*, 1995). Dengan M_{mg} = kuadrat tengah musim x galur; M_{lg} = kuadrat tengah lokasi x galur; M_{mlg} = kuadrat tengah musim x lokasi x galur; M_g = kuadrat tengah galur; r = ulangan; l = lokasi; m = musim; db_g = derajat bebas galur; db_{lg} = derajat bebas galur x lokasi; db_{mlg} = derajat bebas galur x musim; db_{mlg} = derajat bebas musim x lokasi x galur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis ragam gabungan musim x lokasi x galur (Tabel 4) menunjukkan bahwa musim berpengaruh sangat nyata terhadap karakter yang diamati kecuali karakter tinggi tanaman, jumlah spikelet, jumlah biji/malai, bobot biji/malai, dan kerapatan stomata.

Tabel 4. Analisis ragam gabungan karakter agronomis, morfologis, dan fisiologis galur gandum introduksi di agroekosistem tropika (Cipanas dan Bogor).

Karakter	Kuadrat tengah						
	M	L	M x L	G	G x M	G x L	MxLxG
Tinggi tanaman	93,8 ^{tn}	3605,5 ^{**}	1.487,3 ^{**}	243,4 ^{**}	66,75 [*]	44,59 ^{tn}	86,44 ^{**}
Anakan produktif	7,7 ^{**}	598,8 ^{**}	26,5 ^{**}	0,8 ^{tn}	0,62 ^{tn}	0,47 ^{tn}	0,35 ^{tn}
Umur berbunga	941,3 ^{**}	28,7 ^{tn}	169,3 ^{**}	174,7 ^{**}	44,04 ^{**}	136,34 ^{**}	36,94 ^{**}
Umur panen	679,6 ^{**}	2992,5 ^{**}	1.860,0 ^{**}	262,4 ^{**}	119,45 ^{**}	39,81 ^{tn}	57,21 ^{tn}
Panjang malai	3,4 [*]	89,3 ^{**}	5,4 [*]	3,3 [*]	1,12 ^{tn}	1,22 ^{tn}	0,59 ^{tn}
Jumlah spikelet	0,7 ^{tn}	696,9 ^{**}	2,7 ^{**}	22,6 ^{tn}	1,29 ^{tn}	2,39 ^{**}	2,74 ^{**}
Floret hampa	145,8 ^{**}	95,3 ^{**}	4.201,8 ^{**}	83,7 ^{**}	39,03 ^{**}	88,96 ^{**}	44,47 ^{**}
Persentase floret hampa	1.770 ^{**}	8812,7 ^{**}	16.027 ^{**}	434,3 ^{**}	123,48 ^{**}	364,83 ^{**}	53,54 ^{tn}
Jumlah biji/malai	13,5 ^{tn}	8074,2 ^{**}	5.012,6 ^{**}	210,5 ^{**}	35,03 ^{tn}	84,86 ^{**}	24,46 ^{tn}
Bobot biji/malai	0,04 ^{tn}	15,89 ^{**}	2,99 ^{**}	0,1 ^{**}	0,07 ^{**}	0,06 ^{**}	0,05 ^{**}
Jumlah malai/m ²	143.188 ^{**}	279.082 ^{**}	140.564 ^{**}	12.946 ^{**}	4.120 ^{tn}	3.956 ^{tn}	2.292 ^{tn}
Bobot 1.000 biji	22,8 [*]	103,1 [*]	82,3 ^{**}	4,2 [*]	2,06 [*]	3,17 [*]	1,73 ^{tn}
Hasil	1,4 ^{**}	43,66 ^{**}	2,80 ^{**}	0,2 ^{**}	0,12 ^{**}	0,12 ^{**}	0,13 ^{**}
Luas daun	446,5 ^{**}	548,8 [*]	12,9 ^{tn}	49,0 ^{**}	3,99 ^{**}	16,89 ^{**}	16,29 ^{**}
stomata	118,0 ^{tn}	1.306,7 ^{**}	41,4 ^{tn}	313,4 ^{**}	86,47 ^{tn}	152,77 [*]	173,02 [*]
Klorofil a	298,3 ^{**}	37,1 ^{**}	30,8 ^{**}	0,34 ^{tn}	0,24 ^{tn}	0,22 ^{tn}	0,28 ^{tn}
Klorofil b	294,6 ^{**}	8,0 ^{**}	5,9 ^{**}	0,02 ^{tn}	0,04 [*]	0,02 ^{tn}	0,03 [*]
Klorofil a/b	146,2 ^{**}	0,4 ^{**}	0,002 ^{tn}	0,03 ^{tn}	0,04 ^{tn}	0,05 ^{tn}	0,05 ^{tn}
Klorofil total	427,6 ^{**}	49,3 ^{**}	36,9 ^{**}	0,65 ^{tn}	0,39 ^{tn}	0,40 ^{tn}	0,51 ^{tn}
Ketebalan daun	58.105 ^{**}	9.569,8 ^{**}	4.100,4 ^{**}	857,1 ^{tn}	674,76 ^{tn}	473,85 ^{tn}	589,9 ^{tn}
Kehijauan daun	8,8 ^{**}	227,5 ^{**}	316,2 ^{tn}	9,94 ^{**}	9,39 ^{**}	8,88 ^{**}	9,80 ^{**}

M = musim, L = lokasi, M x L = musim x lokasi, G = galur, G x M = galur x musim, G x L = galur x lokasi, M x E x G = musim x lokasi x galur, *nyata pada taraf uji $P \leq 0,05$, **sangat nyata pada taraf uji $P \leq 0,01$, tn = tidak nyata pada taraf uji $P \leq 0,05$ dan $P \leq 0,01$.

Sementara, lokasi tidak berpengaruh nyata hanya terhadap karakter umur berbunga. Interaksi musim x lokasi memperlihatkan empat karakter yang tidak berpengaruh nyata, yaitu luas daun bendera, kerapatan stomata, klorofil a/b, dan kehijauan daun. Galur gandum yang diuji tidak berpengaruh nyata terhadap karakter jumlah anakan produktif, jumlah spikelet, klorofil a, klorofil b, klorofil a/b, klorofil total, dan ketebalan daun. Interaksi musim x lokasi x galur, galur x lokasi, dan galur x musim berpengaruh nyata dan sangat nyata terhadap karakter umur berbunga, jumlah floret hampa, bobot biji/malai, hasil, luas daun bendera, dan kehijauan daun. Hal ini menunjukkan adanya interaksi yang nyata antarmusim x galur x lokasi (M x G x L) yang disebabkan oleh pengaruh musim, galur, dan lokasi secara bersamaan. Namun demikian, tidak otomatis pengaruh musim, galur, dan lokasi secara nyata menyebabkan adanya interaksi M x G x L. Interaksi yang berpengaruh nyata tersebut menunjukkan bahwa faktor musim dan lokasi berperan secara nyata mengekspresikan gen-gen yang sesuai pada genotipe yang diuji untuk mendapatkan hasil yang tinggi. Pengaruh faktor lingkungan ini berpengaruh secara kumulatif terhadap fase pertumbuhan vegetatif, pembungaan, pembentukan biji, dan pengisian biji (Ivory, 1989). Untuk mempertahankan produktivitas gandum di bawah tekanan suhu tinggi, penelitian harus diarahkan untuk merakit varietas atau

genotipe toleran panas pada kondisi lokasi yang berbeda (Hassan *et al.*, 2013)

Indikator pengaruh musim dan lokasi terlihat dengan adanya perbedaan suhu, kelembapan, lama penyinaran, dan intensitas penyinaran di masing-masing lingkungan, yang mana tanaman gandum merupakan tanaman yang sangat responsif terhadap faktor lingkungan tersebut. Menurut Handoko (2007), faktor yang mempengaruhi periode pertumbuhan dan perkembangan galur gandum adalah suhu udara. Setiap penurunan ketinggian tempat terjadi kenaikan suhu udara. Hal ini menjadi cekaman utama selama periode pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Suhu rata-rata pada lingkungan >1.000 m dpl (Cipanas) berkisar 20,2–20,7°C sedangkan pada lingkungan <400 m dpl (Biotrop, Bogor) mencapai 25,9–26,0°C dengan kelembapan masing-masing 81,3–84,4% (BMG, 2012). Rerata kehilangan hasil pada gandum akibat suhu tinggi sekitar 10–15%, terutama disebabkan oleh penurunan bobot bulir yang mencapai 4% untuk setiap peningkatan suhu 1°C di atas suhu optimum. Cekaman suhu tinggi (>30°C) selama periode pengisian biji merupakan salah satu kendala utama dalam meningkatkan produktivitas gandum di daerah tropis (Rane dan Nagarajan, 2004). Yang *et al.* (2002) menunjukkan adanya variasi nilai *heat sensitivitas indeks* (HSI) di antara 30 genotipe gandum heksaploid hasil persilangan antara gandum durum x *Aegilops tauschii*. Sebagian besar genotipe menunjuk-

kan sifat peka terhadap suhu tinggi yang ditunjukkan oleh nilai HSI di atas 1,00.

Berdasarkan analisis gabungan lokasi x galur (Tabel 5), lokasi berpengaruh nyata dan sangat nyata terhadap semua karakter yang diamati. Pengaruh galur tidak nyata terhadap karakter anakan produktif, klorofil a, klorofil b, nisbah klorofil a/b, klorofil total, dan ketebalan daun. Sementara, interaksi galur x lokasi berpengaruh sangat nyata terhadap umur berbunga, umur panen, jumlah spikelet, jumlah floret hampa, persentase floret hampa, bobot biji/tanaman, bobot biji/malai, jumlah malai/m², bobot 1.000 biji, jumlah biji/malai, hasil, luas daun bendera, kerapatan stomata, klorofil b, dan kehijauan daun. Hasil analisis memperlihatkan bahwa umumnya karakter kehijauan daun, seperti klorofil a, nisbah klorofil a/b, klorofil total, dan ketebalan daun, tidak dipengaruhi oleh galur dan interaksi galur x lokasi. Hal ini menunjukkan bahwa karakter fisiologis tidak terpengaruh oleh adanya perubahan lokasi diikuti dengan peningkatan suhu dari 20°C menjadi 25°C. Dengan karakter fisiologis ini, khususnya klorofil a, nisbah klorofil a/b, klorofil total, dan ketebalan daun, tanaman mampu melakukan adaptasi terhadap perubahan lingkungan. Seleksi ke depan perlu difokuskan pada karakter yang tidak mampu melakukan adaptasi dengan perubahan lingkungan, khususnya cekaman suhu tinggi. Perubahan anatomi tanaman terhadap cekaman suhu tinggi meliputi berkurangnya ukuran sel, penutupan stomata,

terbatasnya kehilangan air, meningkatnya kepadatan stomata dan trikorma, dan pembesaran pembuluh xilem pada akar dan tajuk (Anon *et al.*, 2004).

Berdasarkan hasil analisis ragam gabungan (Tabel 4 dan 5), terdapat perbedaan respon dari karakter yang diamati yang disebabkan oleh adanya perubahan partisi ragam dalam analisis ragam gabungan dengan mengeluarkan musim dari model analisis. Hasil ini menunjukkan bahwa lokasi tidak berpengaruh nyata terhadap karakter umur berbunga pada analisis ragam dengan memasukkan musim dalam model (Tabel 4), namun setelah musim dikeluarkan dari model (Tabel 5), respon karakter umur berbunga menjadi berpengaruh sangat nyata. Hal ini memperlihatkan bahwa pada karakter umur berbunga, faktor musim bukan merupakan kendala dalam penanaman tanaman gandum, namun lokasi (tinggi tempat) perlu menjadi pertimbangan dalam penanaman gandum selanjutnya. Sementara pada Tabel 4 dan 5 menunjukkan karakter yang tidak berpengaruh nyata adalah anakan produktif, klorofil a, klorofil b, nisbah klorofil a/b, klorofil total, dan ketebalan daun, hanya karakter jumlah spikelet/malai yang berubah responnya.

Hasil analisis interaksi musim x lokasi x galur (Tabel 4) menunjukkan terdapat beberapa karakter yang tidak berpengaruh nyata, yaitu anakan produktif, umur panen, panjang malai, floret hampa, jumlah biji/malai, jumlah malai/m², bobot 1.000 biji, klorofil a, nisbah klorofil a/b, klorofil total, dan ketebalan daun,

Tabel 5. Analisis ragam gabungan lokasi dan galur karakter agronomis dan fisiologis galur gandum introduksi di agroekosistem tropis MH 2010 dan MK 2011.

Karakter	Kuadrat tengah		
	Lokasi	Galur	Galur x lokasi
Tinggi tanaman	1.728,87**	243,41**	65,93 ^{tn}
Anakan produktif	209,22**	0,76 ^{tn}	0,52 ^{tn}
Umur berbunga	384,74**	173,46**	72,70**
Umur panen	1.935**	214,61**	60,23**
Panjang malai	32,70**	3,26**	0,98 ^{tn}
Jumlah spikelet	227,55**	22,32**	2,09**
Jumlah floret hampa	1.457,20**	83,86**	57,39**
Persen loreet hampa	8.869**	434,26**	180,64**
Bobot biji/tanaman	516,14**	6,61**	2,77**
Bobot biji/malai	6,31**	0,12**	0,62**
Jumlah malai/m ²	178.829**	13.155**	4.112**
Bobot 1.000 biji	550,40**	33,22**	18,40**
Jumlah biji/malai	4.367**	210,51**	48,12**
Hasil	64,49**	0,68**	0,58**
Luas daun bendera	336,08**	49,03**	12,39**
Kerapatan stomata	494,70**	310,26**	136,95**
Klorofil a	122,10**	0,35 ^{tn}	0,25 ^{tn}
Klorofil b	102,85**	0,17 ^{tn}	0,30**
Nisbah klorofil a/b	48,90**	0,34 ^{tn}	0,45 ^{tn}
Klorofil total	171,25**	0,65 ^{tn}	0,43 ^{tn}
Ketebalan daun	23.925**	857,00 ^{tn}	579,55 ^{tn}
Kehijauan daun	184,18**	9,94**	9,36**

*nyata pada taraf uji $P \leq 0,05$, **sangat nyata pada taraf uji $P \leq 0,01$, tn = tidak nyata pada taraf uji $P \leq 0,05$ dan $P \leq 0,01$.

namun setelah partisi musim dikeluarkan dari model analisis karakter yang tadinya tidak berpengaruh nyata berubah responnya pada interaksi galur x lokasi menjadi berpengaruh nyata (Tabel 5), yaitu karakter umur panen, persentase floret hampa, jumlah biji/malai, bobot 1.000 biji, jumlah malai/m², dan bobot biji/tanaman. Fujimura *et al.* (2009) menyatakan bahwa bobot biji secara signifikan lebih tinggi di bawah suhu normal daripada di lingkungan suhu tinggi. Sementara, karakter yang tidak dipengaruhi oleh interaksi musim x galur x lokasi maupun interaksi lokasi x galur adalah jumlah anakan produktif, panjang malai, klorofil a, nisbah klorofil a/b, klorofil total, dan ketebalan daun. Hal ini menunjukkan bahwa karakter tersebut merupakan karakter konstitutif yang dapat muncul pada semua musim baik lokasi normal maupun lokasi tercekam sehingga karakter ini baik digunakan sebagai kriteria seleksi untuk lokasi tercekam, khususnya suhu tinggi. Karakter yang memperlihatkan respon yang bervariasi pada musim maupun lingkungan yang berbeda merupakan karakter *inducible* yang hanya muncul ketika ada suatu tekanan lingkungan di luar dari kondisi lingkungan normal.

Analisis heritabilitas (Tabel 6) berdasarkan anova gabungan musim x galur x lokasi menunjukkan bahwa karakter tinggi tanaman, umur panen, panjang malai, jumlah spikelet, jumlah biji/malai, jumlah malai/m², luas daun bendera, dan kerapatan stomata memiliki nilai heritabilitas yang tinggi, sementara pada Tabel 7 dengan mengeluarkan partisi musim dari model

analisis menunjukkan bahwa karakter tinggi tanaman, umur panen, panjang malai, jumlah biji/malai, jumlah malai/m², luas daun bendera, dan kerapatan stomata menjadi rendah nilai heritabilitasnya, kecuali pada karakter jumlah spikelet tetap tinggi, artinya lingkungan (tinggi tempat) berpengaruh terhadap karakter-karakter tersebut. Indikasinya seleksi terhadap perbaikan karakter tinggi tanaman, umur panen, panjang malai, jumlah biji/malai, jumlah malai/m², luas daun bendera, dan kerapatan stomata hendaknya dilakukan pada masing-masing lokasi (tinggi tempat). Karakter dengan nilai heritabilitas sedang, yaitu umur berbunga, bobot biji/malai, bobot 1.000 biji, hasil, klorofil a, klorofil total, dan ketebalan daun (Tabel 6), menjadi rendah nilai heritabilitasnya setelah partisi musim dikeluarkan dari model analisis (Tabel 7), sementara karakter dengan nilai heritabilitas rendah (Tabel 6 dan 7) adalah jumlah anakan produktif, jumlah floret hampa, persentase floret hampa, klorofil b, rasio klorofil a/b, dan kehijauan daun.

Hasil analisis heritabilitas (Tabel 6 dan 7) menunjukkan hanya karakter jumlah spikelet yang memiliki nilai heritabilitas yang tinggi dan konsisten. Karakter yang memiliki kriteria keragaman genetik luas adalah tinggi tanaman, jumlah spikelet, dan luas daun. Karakter dengan nilai heritabilitas tinggi dan diikuti oleh keragaman genetik luas adalah tinggi tanaman, jumlah spikelet dan luas daun. Menurut Lopez *et al.* (2012), karakter tinggi tanaman, umur panen, umur berbunga, panjang malai, bobot 1.000 biji, dan hasil

Tabel 6. Parameter genetik karakter agronomis dan morfologis galur gandum introduksi berdasarkan analisis gabungan musim x lokasi x galur di agroekosistem tropika (Cipanas dan Bogor).

Karakter	σ^2_E	σ^2_{GML}	σ^2_{GL}	σ^2_{GM}	σ^2_G	σ^2_P	$h^2_{(bs)}$	$\sigma_{(\sigma^2_G)}$
Tinggi tanaman	29,17	19,09	0	0	18,21	25,41	71,66	9,20 ^L
Anakan produktif	0,44	0,01	0,03	0,01	0,01	0,05	19,19	0,04 ^S
Umur berbunga	11,43	8,41	1,29	16,73	2,39	5,45	43,89	7,77 ^S
Umur panen	30,28	9,55	10,01	0	13,62	18,53	73,49	10,1 ^S
Panjang malai	0,75	0,05	0,09	0,10	0,13	0,17	71,82	0,13 ^S
Jumlah spikelet	0,91	0,59	0	0	1,79	2,01	88,85	0,77 ^L
Floret hampa	13,63	10,25	0	7,38	0,04	3,74	1,07	4,61 ^S
Persentase floret hampa	44,14	3,14	11,65	51,89	0	4,42	0	19,8 ^S
Jumlah biji/malai	23,89	0,19	1,76	10,07	9,59	11,63	82,47	7,86 ^S
Bobot biji/malai	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	43,95	0,01 ^S
Jumlah malai/m	1.846	147,0	306,0	278,7	595,7	786,3	75,8	488 ^S
Bobot 1.000 biji	7,93	1,93	0,44	1,90	0,45	1,60	28,44	1,59 ^S
Hasil	0,11	0,22	0	0	0,04	0,10	37,94	0,04 ^L
Luas daun	5,19	3,70	0	0,10	3,70	5,06	73,17	1,85 ^L
Kerapatan stomata	68,64	34,81	0	0	20,60	35,02	58,82	13,6 ^S
Klorofil a	0,20	0,03	0	0	0,01	0,04	38,14	0,02 ^S
Klorofil b	0,17	0,05	0,01	0	0	0,02	0	0,02 ^S
Rasio klorofil a/b	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00 ^S
Klorofil total	0,34	0,05	0	0	0,03	0,07	41,93	0,03 ^S
Ketebalan daun	478,17	37,28	14,13	0	24,86	74,03	33,59	45,2 ^S
Kehijauan daun	3,21	2,20	0	0	0,12	0,94	13,04	0,65 ^S

σ^2_E = ragam lingkungan, σ^2_{GML} = ragam interaksi, σ^2_{GL} = ragam interaksi, σ^2_{GM} = ragam interaksi, σ^2_G = ragam genetik, di mana nilai (-) diasumsikan nol dalam perhitungan heritabilitas, σ^2_P = ragam fenotipe, $h^2_{(bs)}$ = heritabilitas, $\sigma_{(\sigma^2_G)}$ = standar deviasi ragam genetik, S = sempit, L = luas.

Tabel 7. Parameter genetik karakter agronomis dan morfologis galur gandum introduksi berdasarkan analisis gabungan lokasi x galur di agroekosistem tropika (Cipanas dan Bogor).

Karakter	σ^2_E	σ^2_{GL}	σ^2_G	σ^2_P	$h^2_{(bs)}$	$\sigma_{(\sigma^2_G)}$
Tinggi tanaman	29,17	12,25	14,79	56,21	26,31	8,58 ^S
Anakan produktif	0,44	0,03	0,02	0,49	4,01	0,03 ^S
Umur berbunga	11,43	20,42	8,40	40,25	20,86	6,40 ^S
Umur panen	30,28	14,03	15,85	60,16	26,35	9,27 ^S
Panjang malai	0,75	0,07	0,19	1,02	18,63	0,12 ^S
Jumlah spikelet	0,91	0,39	1,68	2,98	56,45	0,76 ^L
Floret hampa	13,63	14,58	2,20	30,42	7,25	3,46 ^S
Persen floret hampa	44,14	45,50	21,13	110,77	19,00	16,00 ^S
Jumlah biji/malai	23,89	8,08	13,53	45,50	27,75	7,35 ^S
Bobot biji/malai	0,02	0,02	0,01	0,04	13,13	0,01 ^S
Jumlah malai/m ⁻²	1846,40	536,76	790,57	3.173,73	24,91	455,78 ^S
Bobot 1.000 biji	7,93	3,49	1,23	12,66	9,76	1,29 ^S
Hasil	0,11	0,16	0,01	0,27	3,03	0,03 ^S
Luas daun	5,19	2,40	3,05	10,64	28,69	1,72 ^S
Kerapatan stomata	68,64	22,93	14,66	106,23	13,80	11,6 ^S
Klorofil a	0,20	0,02	0,01	0,22	3,88	0,02 ^S
Klorofil b	0,02	0,00	0	0,02	0	0,02 ^S
Rasio klorofil a/b	0,04	0,00	0,00	0,00	0	0,00 ^S
Klorofil total	0,34	0,03	0,02	0,39	4,68	0,03 ^S
Ketebalan daun	478,17	33,79	23,12	535,09	4,32	35,19 ^S
Kehijauan daun	3,21	2,05	0,05	5,31	0,91	0,46 ^S

σ^2_E = ragam lingkungan, σ^2_{GL} = ragam interaksi, σ^2_G = ragam genetik, di mana nilai (-) diasumsikan nol, dalam perhitungan heritabilitas, σ^2_P = ragam fenotipe, $h^2_{(bs)}$ = heritabilitas, $\sigma_{(\sigma^2_G)}$ = standar deviasi ragam genetik, S = sempit, L = luas.

memiliki nilai heritabilitas tinggi pada pengujian beberapa lingkungan suhu sedang. Sementara, nilai heritabilitas berdasarkan anova gabungan lingkungan x galur secara umum menunjukkan semua karakter yang diamati mengalami penurunan.

Interaksi musim x lokasi x galur berpengaruh terhadap perubahan nilai heritabilitas dalam arti luas. Hal ini dapat dilihat pada beberapa karakter yang memperlihatkan nilai heritabilitas yang rendah, seperti umur berbunga, floret hampa, hasil, klorofil b, dan kehijauan daun. Karakter dengan nilai heritabilitas rendah-sedang dengan keragaman genetik sempit diduga terjadi karena tingginya cekaman lingkungan selama pertumbuhan tanaman sehingga karakter tersebut tidak dapat memunculkan potensi genetiknya secara optimum.

KESIMPULAN

Terdapat karakter yang tidak dipengaruhi oleh musim, yaitu umur panen, persentase floret hampa/malai, jumlah biji/malai, bobot 1.000 biji, jumlah malai/m², dan bobot biji/tanaman.

Terdapat karakter yang tidak dipengaruhi oleh interaksi musim x galur x lokasi atau interaksi galur x lokasi, yaitu jumlah anakan produktif, panjang malai, klorofil a, nisbah klorofil a/b, klorofil total, dan ketebalan daun.

Karakter yang memiliki nilai heritabilitas tinggi adalah tinggi tanaman, umur panen, panjang malai, jumlah spikelet/malai, jumlah biji/malai, jumlah malai/m², luas daun, dan kerapatan stomata.

Karakter yang memiliki nilai heritabilitas tinggi dan diikuti oleh keragaman genetik luas pada dua model analisis gabungan adalah jumlah spikelet/malai.

Seleksi terhadap karakter hendaknya dilakukan pada masing-masing tempat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, M.O., M. Subiksa, N. Argosubekti, L. Hakim, dan M.S. Pabbage. 2006. Prospek dan arah pengembangan agribisnis gandum. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. hlm. 6-7.
- Allard, R.W. and A.D. Bradshaw. 1964. Implication of genotype environment interaction in applied plant breeding. *Crop. Sci.* 4:503-507.
- Anon, S., J.A. Fernandez, J.A. Franco, A. Torrecillas, J.J. Alarcon, and B.M.J. Sanchez. 2004. Effects of water stress and night temperature preconditioning on water relations, morphological, and anatomical changes of *Lotus creticus*. *Plants Sci. Hort.* 101:333-342.
- Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika. 2012. Data iklim bulanan 2010 dan 2011. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Darmaga, Bogor.
- Badan Pusat Statistik. 2013. Statistik pertanian. www.bps.go.id. [19 Februari 2013].
- Falconer, D.S. 1989. *Introduction to Quantitative Genetics*. John Wiley and Sons. Inc. New York. 438 p.

- Fujimura, S., P. Shi, K. Iwama, X. Zhang, J. Gopal, and Y. Jitsuyama. 2009. Comparison of growth and grain yield of spring wheat in Lhasa, the Tibetan Plateau, with those in Sapporo, Japan. *Plant Prod. Sci.* 12:116-123.
- Hallauer, A.R. and J.B. Miranda. 1995. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. 2nd ed. Iowa State Univ. Press, Ames. 664 p.
- Handoko. 2007. *Gandum 2000 Penelitian dan Pengembangan Gandum Di Indonesia*. Seameo-Biotrop, Bogor, Indonesia. 118 hlm.
- Hassan, M.S., G.I. Mohamed, and R. El-Said. 2013. Stability analysis of grain weight and its component of some durum wheat genotypes (*Triticum durum* L.) under different environments. *Asian J. Crop Sci.* 2:179-189.
- Ivory, D.A. 1989. Site characterization. p. 17-24. *In* I.H. De lacy (ed.) *Analysis of Data from Agricultural Adaptation Experiments*. Australian Cooperation with the Thai/World Bank National Agricultural Research Project (ACNARP) Training Course. Suphanburi and Chiang Mai Thailand, 15–17 January 1989.
- Lopes, M.S., M.P. Reynolds, M.R. Jalal-Kamali, M. Moussa, Y. Feltaous, I.S.A. Tahir, N. Barma, M. Vargas, Y. Mannes, and M. Baum. 2012. The yield correlations of selectable physiological traits in a population of advanced spring wheat lines grown in warm and drought environments. *Field Crops Research* 128:29-136.
- Pinaria, A., A. Baihaki, A. Setiamihardja, dan A.A. Daradjat. 1995. Penampilan fenotipik dan beberapa parameter genetik delapan kultivar kacang tanah pada lahan sawah. *Zuriat* 11(1):8-15.
- Rane, J. and S.S. Nagarajan. 2004. High temperature index for field evaluation of heat tolerance in wheat varieties. *Agric. Sys.* 2:243-255.
- Stone, P. 2001. The effects of heat stress on cereal yield and quality. p. 243-291. *In* A.S. Basra (ed.) *Crop Responses and Adaptations to Temperature Stress*. Binghamton NY. Food Products Press.
- Singh, R.K. and B.D. Chaudhary. 1985. *Biometrical Methods in Quantitative Genetics Analysis*. Kalyani Publisher, New Delhi. p. 39-53.
- Stanfield, W.D. 1983. *Theory and Problems of Genetic*. 2nd Ed. New York: McGraw-Hill. 217 p.
- Yang, J., R.G. Sears, B.S. Gill, and G.M. Paulsen. 2002. Growth and senescence characteristics associated with tolerance of wheat-alien amphiploids to high temperature under controlled conditions. *Euphytica* 126:185-193.
-