

Keragaman Genetik Gandum Populasi Mutan M_3 di Agroekosistem Tropis

Genetic Variability of Wheat M_3 Mutant Population in Tropical Agroecosystem

Amin Nur¹⁾, Soeranto Human²⁾ dan Trikosoemaningtyas³⁾

¹⁾Balai Penelitian Tanaman Serealia
Jl. Dr. Ratulangi 274 Maros Sulawesi Selatan
Email : iceriamin76@gmail.com

²⁾Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

³⁾Departemen Agronomi dan Hortikultura, Institut Pertanian Bogor

Diterima 29-1-2014; Diterima dengan revisi 20-2-2014; Disetujui 5-5-2014

ABSTRAK

Keragaman Genetik Gandum Populasi Mutan M_3 di Agroekosistem Tropis. Keberhasilan mengembangkan varietas terhadap toleransi suatu cekaman dalam program pemuliaan tanaman sangat ditentukan oleh ketersediaan keragaman genetik, ketepatan menerapkan metode seleksi dan kemampuan pemulia dalam mengidentifikasi genotipe yang memperlihatkan ketahanan terhadap cekaman tertentu. Penelitian bertujuan untuk mengetahui keragaman genetik mutan gandum hasil seleksi generasi M_3 yang toleran terhadap cekaman suhu tinggi pada ketinggian tempat (elevasi) yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penampilan tanaman di elevasi > 1000 m dpl lebih baik dibanding elevasi < 400 m dpl. Populasi M_3 yang memiliki perubahan nilai tengah tinggi adalah M_3 Kasifbey, M_3 Rabe dan M_3 Basribey. Populasi M_3 Oasis merupakan populasi yang mampu beradaptasi terhadap cekaman suhu tinggi berdasarkan karakter jumlah floret hampa, jumlah anakan produktif, bobot biji/malai, jumlah biji/malai, bobot biji/tanaman dan jumlah biji/tanaman. Keragaman genetik dan nilai duga heritabilitas di elevasi < 400 m dpl (Bogor) lebih luas dan tinggi dibandingkan elevasi > 1000 m dpl (Cipanas).

Kata Kunci : gandum, mutasi induksi, variabilitas genetik, populasi M_3 .

ABSTRACT

Genetic Variability of Wheat M_3 Mutant Population in Tropical Agroecosystem. The success of developing new varieties tolerant to abiotic stress in a plant breeding programs is mainly determined by the availability of genetic variation, the accuracy of selection method and the ability of the breeder to identify genotypes tolerant to a particular stress. The objective of this research is to study genetic variability of M_3 wheat population derived from gamma irradiation in term of their tolerance to high temperatures at different elevation. The results showed that appearance of M_3 population at > 1000 m asl was generally better than that of < 400 m asl. The M_3 population having the highest mean values were M_3 Kasifbey, M_3 Rabe and M_3 Basribey, respectively. The M_3 Oasis population was relatively able to adapt to high temperature stress judging from characters of number of empty floret, number of productive tillers, grain weight/spike, number of grain/spike, grain weight/plant and number of grain/plant. Genetic variability and estimated heritability value in < 400 m asl (Bogor) were wider and higher than in that of > 1000 m asl (Cipanas).

Keywords : wheat, induced mutation, genetic variability, M_3 populations.

PENDAHULUAN

Pemuliaan tanaman merupakan kegiatan yang harus berlangsung secara

berkesinambungan. Keberhasilan program pemuliaan gandum di Indonesia sangat ditentukan oleh ketersediaan keragaman genetik dan ketepatan dalam menerapkan

metode seleksi dengan memanfaatkan informasi genetik dan heritabilitas [1, 2]. Sebagai tanaman subtropis, materi penelitian gandum umumnya diintroduksi dari berbagai negara, khususnya bekerjasama dengan lembaga internasional yaitu CIMMYT. Materi genetik yang diintroduksi selanjutnya diadaptasikan di lingkungan agroekosistem tropis sebagai langkah awal penyesuaian lingkungan tumbuh dan sekaligus melakukan penapisan pada kondisi cekaman suhu tinggi. Lingkungan tropis pada ketinggian > 1000 mdpl produksi gandum tidak mengalami kendala karena rata-rata produksi mencapai 3 ton/ha dengan potensi hasil 5 - 7 ton/ha [3], namun kendala pengembangan pada ketinggian tersebut adalah keterbatasan lahan, sehingga pengembangan gandum di Indonesia perlu diarahkan pada lahan yang lebih rendah. Masalah yang dihadapi pengembangan gandum pada lahan yang lebih rendah (< 1000 m dpl) adalah cekaman suhu tinggi dan belum ada varietas yang adaptif pada ketinggian < 1000 m dpl, sehingga perlu ada upaya perbaikan dan perakitan varietas yang toleran terhadap suhu tinggi. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam perbaikan dan peningkatan keragaman genetik adalah teknologi iradiasi dengan menggunakan sinar gamma.

Upaya untuk meningkatkan keragaman genetik dan sekaligus menyeleksi pada lingkungan bercekaman dari galur-galur diintroduksi adalah iradiasi sinar gamma dilanjutkan dengan metode *shuttle breeding*. Kegiatan pemuliaan yang diarahkan untuk mengatasi masalah biotik dan abiotik di wilayah yang luas dengan melakukan seleksi di lingkungan yang berbeda secara bergantian sehingga diperoleh materi genetik yang mantap untuk mengatasi suatu masalah. Rangkaian kegiatan pemuliaan tersebut dikenal dengan istilah *shuttle breeding* [4]. Materi genetik yang telah di iradiasi (M_1) dengan sinar gamma diperbanyak pada lingkungan optimal, kemudian keragaman populasi M_2 diseleksi pada lingkungan bercekaman suhu tinggi. Populasi M_3 yang terpilih dibagi atas

dua yaitu satu populasi M_3 dikembalikan pada lingkungan optimal dan satu populasi M_3 dilanjutkan seleksinya pada lingkungan bercekaman suhu tinggi. Dengan metode *shuttle breeding* dapat diperoleh galur-galur mutan putatif yang memiliki daya adaptasi luas, sehingga galur-galur yang diperoleh diadaptasikan di lingkungan optimal tetap dapat mengekspresikan gen-gen yang mengatur produksi tinggi, di lingkungan bercekaman suhu tinggi dan dapat mengekspresikan gen-gen yang mengatur toleransinya terhadap suhu tinggi. Keberhasilan program pemuliaan, khususnya pada lingkungan bercekaman sangat ditentukan oleh ketepatan dalam menerapkan metode seleksi dengan memanfaatkan informasi genetik dan heritabilitas [2].

Seleksi langsung pada lingkungan bercekaman secara terus menerus dari generasi awal hingga dilepas sebagai varietas dapat menyebabkan varietas tersebut memiliki daya adaptasi yang sempit, karena gen-gen yang selalu terekspresi adalah gen-gen toleransi terhadap cekaman. Menurut CECCARELI *et al.* [5], seleksi langsung pada lingkungan target untuk memaksimalkan ekspresi gen-gen yang mengendalikan daya hasil maupun daya adaptasi tanaman terhadap cekaman.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari keragaman genetik mutant gandum pada populasi M_3 terkait toleransi terhadap cekaman suhu tinggi pada ketinggian tempat tumbuh (elevasi) yang berbeda.

BAHAN DAN METODE

Mutasi induksi dilakukan dengan meradiasi benih gandum dengan sinar gamma bersumber Cobalt-60 yang terpasang pada iradiator Gamma Chamber 4000-A di PAIR-BATAN Jakarta. Iradiasi benih gandum dilaksanakan pada bulan Mei 2010. Penanaman populasi mutan M_2 dilaksanakan pada bulan Januari - April 2011 di kebun percobaan Seameo-Biotrop,

Bogor. Penanaman populasi mutan M₃ dilaksanakan di dua elevasi yaitu elevasi >1000 m dpl di kebun percobaan Balithi Cipanas dan elevasi < 400 m dpl di kebun percobaan Seameo-Biotrop Bogor. Penelitian dilaksanakan mulai Juni - September 2011.

Materi genetik yang digunakan berasal dari CIMMYT dan Turki yang telah di uji daya adaptasinya di dua elevasi dan teridentifikasi galur OASIS SKAUZ//4*BCN dan varietas Selayar agak toleran suhu tinggi, RABE/MO 88 dan Dewata peka suhu tinggi, sementara Basribey dan Kasifbey merupakan varietas introduksi dari Turki agak toleran suhu tinggi. Benih 6 varietas induk diambil masing-masing 50 g untuk diiradiasi dengan sinar gamma dosis 300 Gy. Benih yang telah diiradiasi ditanam di dataran tinggi Cipanas. Berbasis tanaman induk yang diiradiasi, masing-masing dipilih tanaman M₁ terbaik sebanyak 40 tanaman. Populasi M₂ ditanam di Bogor bersama dengan kontrol induknya. Seleksi mutan tanaman dilakukan pada populasi M₂ yaitu dengan cara memilih tanaman terbaik yang memperlihatkan ketahanan terhadap suhu tinggi (relatif dibanding kontrol), kemudian dipanen secara terpisah. Benih tanaman M₂ ditanam sebagai populasi M₃ pada dua elevasi yang berbeda yaitu elevasi >1000 m dpl di kebun percobaan Balithi Cipanas dan elevasi < 400 m dpl di kebun percobaan Seameo-Biotrop Bogor bersama dengan ke 6 varietas induk sebagai kontrol. Study variabilitas genetik dilakukan pada populasi M₃ tersebut. Seleksi pedigree pada M₃ dilakukan berdasarkan penampilan morfologi tanaman yang mampu beradaptasi baik pada kondisi optimum maupun yang mengalami cekaman suhu tinggi (dibanding kontrol) dan dilanjutkan penanaman pada M₄.

Pengolahan tanah sampai siap tanam dilakukan dua minggu sebelum tanam dalam sebuah petak tanam yang sebelumnya telah diberi pupuk kandang. Populasi mutan M₃ dari masing-masing varietas induk ditanam dalam barisan dengan jarak tanam 25 cm antar barisan dan benih dilarik dalam barisan. Pemupukan diberikan dua kali yaitu pada saat tanaman berumur 10 HST

dengan dosis dengan dosis 150 kg/ha Urea, 200 kg/ha SP36 dan 100 kg/ha KCl dan pemupukan kedua dengan dosis 150 kg/ha Urea pada umur 30 HST. Sebelum ditanam benih diberi perlakuan insektisida *Carbaryl* dan pada saat tanam lubang larikan diberi *Carbofuran*.

Pengamatan dilakukan terhadap peubah umur berbunga (hari), umur masak (hari), tinggi tanaman (cm), jumlah anakan produktif, jumlah spikelet, jumlah floret, jumlah floret hampa, panjang malai (cm), jumlah biji/malai (g), bobot biji/malai (g), bobot 1000 biji (g), dan tingkat kehijauan daun.

Keragaman genetik populasi tanaman untuk karakter yang diamati dihitung menggunakan rumus varians sebagai berikut:

$$\sigma_g^2 = \sigma_p^2 - \sigma_e^2$$

σ_g^2 = keragaman genetik populasi tanaman

σ_p^2 = keragaman total, dihitung berdasarkan keragaman total

σ_e^2 = keragaman lingkungan, dihitung berdasarkan keragaman varietas induk yang diasumsikan homozygote. Secara umum keragaman (variens) dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$\sigma^2 = \frac{(\sum x^2) - [(\sum x)^2 / n]}{n - 1}$$

Dimana σ^2 = keragaman; n = jumlah anggota populasi/sampel; x = data peubah yang diamati. Selanjutnya, nilai heritabilitas dihitung dengan menggunakan rumus berikut [6]:

$$h^2 = \sigma_g^2 / \sigma_p^2$$

Kriteria nilai heritabilitas : $h^2 > 0,5$: nilai heritabilitas tinggi; h^2 terletak antara 0,2 - 0,5 : nilai heritabilitas sedang; $h^2 < 0,2$: nilai heritabilitas rendah.

Koefisien keragaman genetik ditentukan berdasarkan metode yang dikemukakan oleh Singh dan Chaudhari [6] sebagai berikut :

$$KKG = \left(\frac{\sigma_g}{\bar{x}} \right) \times 100\%$$

Dimana : σ_g = akar varian genotip; \bar{x} = nilai tengah peubah yang diamati. Nilai KKG mutlak yang tertinggi ditetapkan dari nilai KKG relatif 100%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data nilai tengah karakter agronomi populasi M₃ disajikan pada Tabel 1. Terlihat bahwa penampilan agronomi populasi tanaman M₃ di elevasi > 1000 m dpl lebih baik dibandingkan di elevasi < 400 m dpl. Karakter tinggi tanaman populasi M₃Basribey, M₃Selayar, M₃Rabe dan M₃Dewata mengalami perubahan nilai tengah paling tinggi dibanding populasi

M₃Oasis dan M₃Kasifbey. Karakter panjang malai populasi M₃Kasifbey dan M₃Basribey mengalami perubahan nilai tengah paling tinggi dibanding populasi M₃Oasis, M₃Selayar, M₃Rabe dan M₃Dewata. Karakter jumlah spikelet populasi M₃Oasis, M₃Kasifbey, dan M₃Rabe memiliki perubahan nilai tengah paling tinggi dibanding M₃Basribey, M₃Selayar dan M₃Dewata. Karakter jumlah floret hampa dari semua populasi M₃ memiliki perubahan nilai tengah paling tinggi diantara semua karakter yang diamati baik di elevasi < 400 m dpl (Bogor) maupun di elevasi > 1000 m dpl (Cipanas) (Tabel 2). Penyebab utama tertekannya pertumbuhan dan perkembangan populasi tanaman M₃ di

Tabel 1. Nilai tengah karakter agronomi populasi M₃ di Bogor dan Cipanas.

Elevasi	Populasi M ₃					
	M ₃ Oasis	M ₃ Kasifbey	M ₃ Basribey	M ₃ Rabe	M ₃ Selayar	M ₃ Dewata
Tingkat Kehijauan Daun						
< 400 m dpl	42.1 ± 3.7	43.1 ± 7.9	42.7 ± 5.2	39.6** ± 7.1	43.6 ± 4.7	41.8* ± 4.1
1000 m dpl	49.2* ± 5.1	48.5** ± 5.1	44.9 ± 4.0	50.0 ± 5.2	50.2** ± 5.6	47.0* ± 4.3
Tinggi Tanaman (cm)						
< 400 m dpl	62 ± 10.5	56 ± 12.6	62** ± 8.9	44* ± 8.9	60** ± 9.8	61** ± 10.8
1000 m dpl	69.1** ± 7.3	77** ± 11.9	83** ± 10	80** ± 12	72** ± 8.1	72** ± 10.4
Panjang Malai (cm)						
< 400 m dpl	6.8** ± 1.2	6.8** ± 1.2	7.1* ± 1.1	5.1 ± 1.3	6.6** ± 1.1	6.8 ± 5.0
1000 m dpl	8.6 ± 1.2	8.8** ± 1.1	9.4** ± 1.4	9.7** ± 1.5	8.4 ± 1.0	10.7** ± 1.8
Jumlah spikelet						
< 400 m dpl	14.0** ± 2.6	13.8* ± 2.5	13.9 ± 2.4	10.3 ± 2.7	13.6** ± 2.2	13.1 ± 2.6
1000 m dpl	21.2** ± 2.0	21.9** ± 1.4	22.4** ± 1.7	20.9** ± 2.3	21.3** ± 2.1	21.6** ± 2.5
Jumlah Floret Hampa						
< 400 m dpl	10.1** ± 6.5	12.2** ± 6.2	20.2** ± 10.5	13.0** ± 6.7	11.4** ± 6.0	13.1** ± 6.8
1000 m dpl	23.5** ± 9.6	27.4** ± 10	31.2** ± 10.7	28.8** ± 11	27.9** ± 12	25.7* ± 12.8
Jumlah Anakan Produktif						
< 400 m dpl	1.9 ± 1.3	1.5** ± 1.1	1.5* ± 0.9	0.2 ± 0.5	1.3 ± 0.9	0.9 ± 0.7
1000 m dpl	4.9 ± 1.2	5.4 ± 1.0	5.4* ± 1.1	5.3** ± 1.5	5.1 ± 1.5	4.9 ± 1.4
Bobot biji/Malai (g)						
< 400 m dpl	0.9** ± 0.3	0.9** ± 0.3	0.6** ± 0.3	0.5** ± 0.3	0.9** ± 0.3	0.7** ± 0.3
1000 m dpl	1.6 ± 0.3	1.7 ± 0.5	1.4 ± 0.4	1.5 ± 0.5	1.3 ± 0.3	1.3 ± 0.3
Jumlah Biji/Malai						
< 400 m dpl	32** ± 10.8	29** ± 9.3	21** ± 9.1	18** ± 9.1	29** ± 9.0	26** ± 9.3
1000 m dpl	40.2 ± 9.4	38.4** ± 9.9	36 ± 10	34 ± 9.1	35.9** ± 10	39 ± 11.9
Bobot Biji/Tanaman (g)						
< 400 m dpl	2.9 ± 2.2	2.3** ± 1.7	1.7** ± 1.2	0.7** ± 0.7	2.1 ± 1.3	1.5 ± 1.0
1000 m dpl	9.6** ± 2.7	10.7** ± 3.0	9.2** ± 2.9	9.8** ± 3.9	9.8** ± 3.9	9.8** ± 3.9
Jumlah Biji/Tanaman						
< 400 m dpl	106** ± 76	78 ± 52	56** ± 36	25* ± 22	72** ± 44	53** ± 34
1000 m dpl	215.9 ± 80	244.1 ± 67	232.4* ± 78	215.9 ± 80	219.9* ± 82	232.2 ± 89

elevasi < 400 m dpl adalah cekaman suhu tinggi. Suhu optimal pertumbuhan hingga pengisian bulir gandum berada antara 19.3°C dan 22.1°C, sementara suhu udara pada elevasi < 400 m dpl (Bogor) mencapai suhu rata-rata 26°C dengan suhu maksimum 32°C (BMG 2012). Mutasi pada tanaman gandum yang disertai dengan seleksi dapat menghasilkan peningkatan nilai tengah pada karakter yang diamati dibandingkan populasi tanaman kontrol [7].

Peningkatan nilai tengah karakter agronomi pada populasi M₃ berbeda baik di elevasi < 400 m dpl maupun di elevasi > 1000 m dpl, namun semua karakter agronomi di elevasi < 400 m dpl mengalami penghambatan pertumbuhan dan perkembangan dibanding di elevasi > 1000 m dpl. Diduga penyebab utama penghambatan pertumbuhan dan perkembangan semua karakter agronomi dan penurunan hasil gandum di elevasi < 400 m dpl adalah adanya cekaman suhu tinggi. Populasi M₃ dari induk Oasis merupakan populasi yang mampu beradaptasi pada kondisi cekaman suhu tinggi dibandingkan populasi M₃ dari lainnya hasil iradiasi berdasarkan karakter jumlah floret hampa, jumlah anakan produktif, bobot biji/malai, jumlah biji/malai, bobot biji/tanaman dan jumlah biji/tanaman.

Populasi M₃ di Bogor menunjukkan respon yang beragam. Hal ini disebabkan karena populasi generasi M₃ ini kemungkinan masih heterogen (heterozygote) disamping itu tingginya tingkat cekaman suhu yang disertai dengan ketersediaan air kurang menyebabkan beberapa individu tanaman dalam populasi tidak dapat bertahan hidup. Komponen ragam dan keragaman karakter tingkat kehijauan daun, tinggi tanaman, panjang malai dan jumlah spikelet/malai gandum populasi M₃ di Bogor dan Cipanas disajikan pada Tabel 2.

Informasi tentang keragaman yang disebabkan oleh faktor genetik dan lingkungan dan koefisien keragaman genetik dapat mempermudah dalam menyeleksi suatu karakter kearah yang lebih baik. Hasil

pendugaan komponen ragam, nilai hertabilitas dan keragaman genetik disajikan pada Tabel 2, 3 dan 4. Keragaman genetik pada populasi M₃ tergantung pada karakter agronomi yang diamati.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa karakter tingkat kehijauan daun pada populasi M₃ di elevasi < 400 m dpl (kondisi cekaman suhu tinggi) yang memperlihatkan keragaman genetik luas dengan nilai hertabilitas tinggi adalah dari populasi M₃Kasifbey dan M₃Selayar, sedangkan untuk karakter tinggi tanaman, keragaman genetik luas dan nilai hertabilitas tinggi diperoleh pada populasi M₃Kasifbey, M₃Selayar dan M₃Dewata. Untuk karakter panjang malai, hanya populasi M₃Dewata yang menunjukkan keragaman genetik dan nilai hertabilitas tinggi. Populasi M₃Basribey memiliki keragaman genetik luas dan heritabilitas tinggi hanya pada karakter jumlah floret hampa.

Karakter jumlah biji/malai memiliki keragaman genetik luas dengan nilai hertabilitas tergolong sedang terdapat pada populasi M₃Kasifbey, M₃Selayar dan M₃Dewata. Demikian halnya populasi M₃Kasifbey, M₃Selayar dan M₃Rabe memiliki keragaman genetik luas dengan heritabilitas sedang, kecuali populasi M₃Dewata memiliki keragaman genetik luas dan heritabilitas tinggi. Sementara karakter lainnya di elevasi < 400 m dpl (Bogor) umumnya memiliki keragaman genetik sempit sampai sedang, demikian juga nilai hertabilitas tergolong rendah sampai sedang. Keragaman genetik sifat toleransi terhadap suhu tinggi ditemukan pada gandum lokal [8] dan kerabat liarnya [9]. Gandum liar dengan genom D mempunyai kemampuan untuk bertahan lebih tinggi pada musim panas di daerah temperate dibandingkan gandum yang hanya memiliki genom A atau B [10]. Populasi M₃ yang konsisten memperlihatkan keragaman genetik luas dengan nilai hertabilitas tinggi pada karakter tingkat kehijauan daun, tinggi tanaman, jumlah biji/malai dan jumlah biji/tanaman di Bogor adalah M₃Kasifbey dan M₃Selayar.

Tabel 2. Komponen ragam dan keragaman karakter tingkat kehijauan daun, tinggi tanaman, panjang malai dan jumlah spikelet/malai gandum populasi M₃ di Bogor dan Cipanas.

Komponen Ragam	Populasi M ₃					
	M ₃ O	M ₃ K	M ₃ B	M ₃ S	M ₃ R	M ₃ D
Bogor						
<i>Tingkat Kehijauan Daun</i>						
σ ² p (ragam fenotip)	13.40	62.64	26.75	50.05	22.56	16.55
σ ² g (ragam genetik)	1.51	47.34	10.23	38.50	3.56	5.74
H ² (Heritabilitas arti luas)	0.11	0.76	0.38	0.77	0.16	0.35
KKg(Keragaman genetik)	3.58 SM	109.91 ^L	23.97 SM	97.12 ^L	8.17 SM	13.75 SM
Cipanas						
σ ² p (ragam fenotip)	26.17	25.54	16.30	26.71	31.62	18.59
σ ² g (ragam genetik)	8.96	-0.10	-2.14	1.30	-6.56	-12.70
H ² (Heritabilitas)	0.34	0.00	-0.13	0.05	0.00	0.00
KKg(Keragaman genetik)	18.2 SM	-0.22 SM	-4.78 SM	2.61 SM	-13.1 SM	-27.02 SM
Bogor						
<i>Tinggi Tanaman (cm)</i>						
σ ² p (ragam fenotip)	110.70	157.55	79.36	79.67	95.87	117.19
σ ² g (ragam genetik)	38.14	93.45	22.82	55.33	39.05	66.09
H ² (Heritabilitas arti luas)	0.34	0.59	0.29	0.69	0.41	0.56
KKg(Keragaman genetik)	61.14 ^L	167.4 ^L	36.57 ^{SD}	124.5 ^L	65.4 ^L	108.6 ^L
Cipanas						
σ ² p (ragam fenotip)	53.86	141.88	104.68	137.25	65.59	107.96
σ ² g (ragam genetik)	-4.35	29.45	-5.55	28.84	18.48	-44.11
H ² (Heritabilitas arti luas)	0.00	0.21	0.00	0.21	0.28	0.00
KKg(Keragaman genetik)	-6.3 SM	38.39 ^{SD}	-6.66 ^S	35.9 ^{SD}	25.6 ^{SD}	-60.93 SM
Bogor						
<i>Panjang Malai (cm)</i>						
σ ² p (ragam fenotip)	1.53	1.32	1.17	1.75	1.21	24.57
σ ² g (ragam genetik)	-0.15	0.03	-0.41	0.23	-0.59	23.33
H ² (Heritabilitas arti luas)	0.00	0.02	0.00	0.13	0.00	0.95
KKg(Keragaman genetik)	-2.2 SM	0.40 SM	-5.78 SM	4.5 SM	-8.9 SM	344.15 ^L
Cipanas						
σ ² p (ragam fenotip)	1.38	1.17	1.90	2.33	1.07	3.14
σ ² g (ragam genetik)	0.03	-0.65	-0.68	0.03	-0.26	-0.78
H ² (Heritabilitas arti luas)	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
KKg(Keragaman genetik)	0.39 SM	-7.38 SM	-7.2 SM	0.35 SM	-3.1 SM	-7.30 SM
Bogor						
<i>Jumlah spikelet/Malai</i>						
σ ² p (ragam fenotip)	6.76	6.03	5.78	7.12	4.73	7.00
σ ² g (ragam genetik)	-0.27	0.72	-0.97	-0.87	-3.07	2.04
H ² (Heritabilitas arti luas)	0.00	0.12	0.00	-0.12	0.00	0.29
KKg(Keragaman genetik)	-1.9 SM	5.2 SM	-6.98 SM	-8.4 SM	-22.7 SM	15.6 ^M
Cipanas						
σ ² p (ragam fenotip)	3.90	2.10	2.73	5.07	4.52	6.08
σ ² g (ragam genetik)	-7.83	-4.04	-10.42	-8.86	-3.04	-8.29
H ² (Heritabilitas arti luas)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
KKg(Keragamangenetik)	-36.9 SM	-18.4 SM	-46.5 SM	-42 SM	-14 SM	-38.4 SM

Keterangan : M₃O = M₃Oasis; M₃K = M₃Kasifbey; M₃B = M₃Basribey; M₃R = M₃Rabe;
 M₃S = M₃Selayar; M₃D = M₃Dewata; L = Keragaman genetik luas;
 SD = Keragaman genetik sedang; SM = Keragaman genetik sempit.

Tabel 3. Komponen ragam dan koefisien keragaman genetik karakter jumlah floret hampa, jumlah anakan produktif, bobot biji/malai dan jumlah biji/malai gandum populasi M₃ di Bogor dan Cipanas.

Komponen Ragam	Populasi M ₃					
	M ₃ O	M ₃ K	M ₃ B	M ₃ S	M ₃ R	M ₃ D
<i>Jumlah floret Hampa</i>						
Bogor						
σ ² p (ragam fenotip)	42.24	38.10	109.93	44.76	36.26	45.96
σ ² g (ragam genetik)	8.26	-13.22	74.56	-14.28	-7.62	-2.33
H ² (Heritabilitas arti luas)	0.20	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00
KKg(Keragaman genetik)	81.9 ^L	-108 SM	369.84 ^L	-109 SM	-67 SM	-17 SM
Cipanas						
σ ² p (ragam fenotip)	92.68	105.61	113.91	120.06	145.99	163.04
σ ² g (ragam genetik)	-44.73	9.12	26.34	-3.17	28.77	-56.23
H ² (Heritabilitas arti luas)	0.00	0.09	0.23	0.00	0.20	0.00
KKg(Keragaman genetik)	-190 SM	33.27	84.40 ^L	-11 SM	103.2 ^L	-219 SM
<i>Jumlah anakan produktif</i>						
Bogor						
σ ² p (ragam fenotip)	1.78	1.19	0.90	0.22	0.86	0.48
σ ² g (ragam genetik)	0.34	-0.27	-0.43	-0.09	-0.27	-0.09
H ² (Heritabilitas arti luas)	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
KKg(Keragaman genetik)	18 SM	-19 SM	-28 SM	-36 SM	-21 SM	-9.6 SM
Cipanas						
σ ² p (ragam fenotip)	1.37	0.97	1.19	2.24	2.36	2.03
σ ² g (ragam genetik)	-0.48	-3.34	-3.21	-0.35	-0.85	-3.34
H ² (Heritabilitas arti luas)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
KKg(Keragaman genetik)	-9.9 SM	-61.9 SM	-59.2 SM	-6.6 SM	-17 SM	-68 SM
<i>Bobot biji/Malai</i>						
Bogor						
σ ² p (ragam fenotip)	0.11	0.10	0.09	0.10	0.09	0.09
σ ² g (ragam genetik)	0.04	0.03	0.02	0.04	0.02	0.04
H ² (Heritabilitas arti luas)	0.37	0.25	0.22	0.45	0.26	0.40
KKg(Keragaman genetik)	4.40 SM	2.99 SM	3.14 SM	8.52 SM	2.93 SM	4.84 SM
Cipanas						
σ ² p (ragam fenotip)	0.11	0.21	0.13	0.21	0.10	0.10
σ ² g (ragam genetik)	-0.07	0.00	-0.02	0.06	-0.01	-0.01
H ² (Heritabilitas arti luas)	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00
KKg(Keragaman genetik)	-4.5 SM	-0.2 SM	-1.7 SM	3.7 SM	-0.4 SM	-0.4 SM
<i>Jumlah biji/Malai</i>						
Bogor						
σ ² p (ragam fenotip)	117.50	87.21	83.43	82.77	81.43	86.10
σ ² g (ragam genetik)	38.40	21.65	-8.35	31.18	7.28	25.63
H ² (Heritabilitas arti luas)	0.33	0.25	0.00	0.38	0.09	0.30
KKg(Keragaman genetik)	120 ^L	74 ^L	-39 SM	174 ^L	25 ^{SD}	98.07 ^L
Cipanas						
σ ² p (ragam fenotip)	88.88	98.12	103.21	82.28	102.04	140.92
σ ² g (ragam genetik)	-13.02	-49.48	-10.63	-8.16	4.17	-65.21
H ² (Heritabilitas arti luas)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
KKg(Keragaman genetik)	-33 SM	-129 SM	-30 SM	-24 SM	12 SM	-167 SM

Keterangan : M₃O = M₃Oasis; M₃K = M₃Kasifbey; M₃B = M₃Basribey; M₃R = M₃Rabe;
M₃S = M₃Selayar; M₃D = M₃Dewata; L = Keragaman genetik luas;
SD = Keragaman genetik sedang; SM = Keragaman genetik sempit.

Tabel 4. Komponen ragam dan keragaman karakter bobot biji/tanaman dan jumlah biji/tanaman gandum populasi M₃ di Bogor dan Cipanas.

Komponen Ragam	Populasi M ₃					
	M ₃ O	M ₃ K	M ₃ B	M ₃ S	M ₃ R	M ₃ D
<i>Bobot biji/Tanaman (g)</i>						
Bogor						
σ^2_p (ragam fenotip)	4.69	2.78	1.36	0.52	1.79	0.98
σ^2_g (ragam genetik)	1.32	-0.19	-1.96	-0.19	-0.11	0.39
H ² (Heritabilitas)	0.28	-0.07	-1.44	-0.37	-0.06	0.40
Kkg (Keragaman genetik)	45 ^{SD}	-8.5 SM	-116 SM	-27 SM	-5.5 SM	27 ^{SD}
Cipanas						
σ^2_p (ragam fenotip)	7.31	9.15	8.49	14.95	14.95	14.95
σ^2_g (ragam genetik)	-1.05	-7.23	-8.09	5.92	6.89	-8.46
H ² (Heritabilitas)	-0.14	-0.79	-0.95	0.40	0.46	-0.56
Kkg (Keragaman genetik)	-11 SM	-67 SM	-88 SM	61 ^L	71 ^L	-87 SM
<i>Jumlah biji/Tanaman</i>						
Bogor						
σ^2_p (ragam fenotip)	5746.3	2705.9	1293.2	465.85	2005.8	1125.2
σ^2_g (ragam genetik)	2834.9	222.1	-2016	175.32	441.73	594.08
H ² (Heritabilitas)	0.49	0.08	-1.56	0.38	0.22	0.53
Kkg (Keragaman genetik)	2687 ^L	283 ^L	-3593 SM	715 ^L	618 ^L	1125 ^L
Cipanas						
σ^2_p (ragam fenotip)	6410.5	4472.3	6078.7	6410.5	6731.5	7846.9
σ^2_g (ragam genetik)	-443.4	-11282	-10079	-443.4	-2237	-7553
H ² (Heritabilitas)	-0.07	-2.52	-1.66	-0.07	-0.33	-0.96
Kkg (Keragaman genetik)	-205 SM	-4623 SM	-4338 SM	-205 SM	-1017 SM	-3253 SM

Keterangan : M₃O = M₃Oasis; M₃K = M₃Kasifbey; M₃B = M₃Basribey; M₃R = M₃Rabe;
 M₃S = M₃Selayar; M₃D = M₃Dewata; L = Keragaman genetik luas;
 SD = Keragaman genetik sedang; SM = Keragaman genetik sempit.

Pada lokasi dengan Elevasi > 1000 m dpl (Cipanas), keragaman genetik dan nilai duga hertabilitas dalam arti luas dari karakter yang diamati umumnya rendah hingga sedang. Keragaman genetik luas dan nilai duga hertabilitas arti luas yang tinggi hanya terlihat pada karakter bobot biji/tanaman pada populasi M₃Selayar dan M₃Rabe, sedangkan karakter jumlah floret hampa pada populasi M₃Rabe memperlihatkan keragaman genetik luas, namun nilai duga hertabilitas arti luas sedang. Hasil ini menunjukkan bahwa seleksi yang dilakukan pada kondisi optimum (Cipanas) hanya didukung oleh nilai hertabilitas dan keragaman genetik yang rendah dibandingkan dengan seleksi yang dilakukan pada kondisi cekaman suhu tinggi. Hal ini berbeda dengan hasil penelitian yang dilaporkan HANAFIAH [11] pada populasi generasi M₃, bahwa seleksi yang dilakukan pada kondisi optimum

memiliki nilai hertabilitas dan keragaman genetik yang tinggi dibandingkan seleksi langsung pada kondisi cekaman kekeringan. Tingginya keragaman genetik dan nilai hertabilitas populasi generasi M₃ pada beberapa karakter yang diamati pada kondisi cekaman suhu tinggi (Bogor) menunjukkan bahwa populasi generasi M₃ masih memiliki tingkat segregasi yang tinggi. Menurut BLUM [12] bahwa terdapat dua faktor yang mempengaruhi nilai hertabilitas pada karakter yang diamati pada kondisi lingkungan bercekaman yaitu adanya gen-gen ketahanan terhadap cekaman pada populasi yang diuji dan akan efektif jika dilakukan pada kondisi cekaman dan tingkat kehomogenan kondisi cekaman dimana seleksi dilakukan.

Cekaman suhu tinggi merupakan cekaman yang terjadi secara terus menerus mulai dari awal pertumbuhan hingga panen dengan tingkat cekaman sangat fluktuatif,

hal ini juga menyebabkan respon genotipe yang diuji sangat beragam. Seleksi pada lingkungan homogen pada kondisi cekaman suhu tinggi akan menghasilkan nilai duga hertabilitas yang lebih baik dibandingkan nilai hertabilitas pada lingkungan yang tidak homogen [12].

KESIMPULAN

1. Penampilan agronomi populasi M₃ di elevasi > 1000 m dpl lebih baik dibanding di elevasi < 400 m dpl. Populasi yang memiliki perubahan nilai tengah yang paling tinggi adalah M₃Kasifbey, M₃Rabe dan M₃Basribey.
2. Keragaman genetik dan nilai duga heritabilitas populasi M₃ di elevasi < 400 m dpl (Bogor) lebih luas dan tinggi dibandingkan elevasi > 1000 m dpl (Cipanas).
3. Keragaman genetik dan nilai duga hertabilitas setiap karakter yang diamati bervariasi di kedua lokasi, sehingga untuk menseleksi populasi terpilih harus sudah memiliki karakter ideal untuk toleran suhu tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) dalam hal ini PAIR yang telah membantu meradiasi sinar gamma gandum yang menjadi materi penelitian, ucapan yang sama kami sampaikan kepada Direktur Seameo Biotrop dan Kepala BALITHI yang telah menyediakan lahan penelitian. Kami juga ucapkan terima kasih pada Bapak H. Kumiyun dan Irawan yang telah membantu penelitian di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

1. MAKMUR, A. *Pengantar Pemuliaan Tanaman*. Jakarta : Rineka Cipta (1990).

2. ROY, D. *Plant Breeding, Analysis and Exploitation of Variation*. New Delhi Narosa Publishing House (2000).
3. BALITSEREAL. Proposal Pelepasan Varietas Gandum KAUZ*2//SAP/MON/3/KAUZCRG969-2Y-010M-OY-OHTY, CAZO/KAUZ//KAUZCMBW90Y3284-OTOPM-14Y-010M-010Y-6M-015Y OY-OHTY dan CBD 17 (2013).
4. BALITSA. Merakit Varietas Unggul Hortikultura Melalui *Shuttle Breeding* (diunduh 2012 Nopember 10) tersedia pada: www.google.com (2002).
5. CECCARELI, S., ERSKINE, HUMBLIN, BRANDO. *Genotype by environment interaction and international breeding program*. <http://www.icrisat.org> (2012).
6. SINGH, R.K., CHAUDHARY, B.D. *Biometrical Methods in Quantitative Genetiks Analysis*. New Delhi: Kalyani Publisher (1985).
7. KUSAKSIZ, T., DERE, S. A study on the determination of genotypic variation for seed yield and its utilization through selection in durum wheat (*Triticum durum Desf*) mutan populations. *Turkish Journal of Field Crops* 15(2), 188-192 (2010).
8. HEDE, A.R., SKOVMAND, B., REYNOLDS, M.P., CROSSA, J., VILHELMSSEN, A.L., STOLEN, O. Evaluating genetic diversity for heat tolerance traits in Mexican wheat landraces. *Genet. Resources Crop Evol.* 46, 37-45 (1999).
9. YANG, J., SEARS, R.G., GILL, B.S., PAULSEN, G.M. Growth and senescence characteristics associated with tolerance of wheat-alien amphiploids to high temperature under controlled

-
- conditions. *Euphytica* **126**, 185-193 (2002).
10. EHDAIE and WAINES. *dalam* Yang, J., Sears, R.G., Gill, B.S., Paulsen, G.M. 2002. Growth and senescence characteristics associated with tolerance of wheat-alien amphiploids to high temperature under controlled conditions. *Euphytica* **126**, 185-193 (1992).
11. HANAFIAH, D.S. Perbaikan karakter agronomi dan adaptasi terhadap cekaman kekeringan pada kedelai [*Glycine max* (L.) Merr] melalui induksi mutasi mikro [Disertasi]. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor (2012).
12. BLUM, A. Genetic and physiological relationship in plant breeding for drought tolerance. *Agric Water Manage* **7**,195-205 (1983).