

POTENSI SEGREGAN TRANSGRESIF BERDAYA HASIL TINGGI PADA BEBERAPA KOMBINASI PERSILANGAN GANDUM

(The Potential of High Yield Transgressive Segregants in Several Wheat Cross Combinations)

NURWANITA EKASARI PUTRI^{1*}, YUDIWANTI WAHYU², SURJONO H. SUTJAHJO²,
TRIKOESOEMANINGTYAS², AMIN NUR³, WILLY BAYUARDI SUWARNO²

¹Program Studi Agroteknologi, Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian,
Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang

²Departmen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor,
Jl. Meranti, Babakan, Darmaga, Bogor

³Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP), Jl. Mohamad Van Gobel No. 270, Bone Bolango,
Gorontalo

*Email: nurwanita@agr.unand.ac.id

ABSTRACT

The need for domestic wheat grains tends to increase, and one of the efforts to face this situation is the assembly of tropical wheat varieties. The approach taken through this research is hybridization followed by several generations of selection. This study aimed to predict heterosis and the crossed combinations that possibly produced transgressive segregants. The experiment was conducted from August 2016 to May 2017 at the experimental station of the Indonesian Ornamental Plants Research Center, Cipanas (1100 m asl), Cianjur Regency, West Java Province. The genetic materials were seven genotypes, namely Guri1, Guri2, Guri3, Guri6, HP1744, IS-Jarissa, and Vee, crossed with the Selayar variety. This experiment used a randomized complete block design with three replications. The treatment was 15 wheat genotypes (seven F1 genotypes and eight parent genotypes), so there were 45 experimental units. There were yield and yield component observations. The results showed that several characters in each F1 combination of crosses had a higher or lower mean value than their parents. There is a combination of crosses that have a high heterosis value. The action of genes that control yield and yield components of wheat are overdominant, partially dominant, and partially recessive gene actions. The cross combinations of Guri3/Selayar, Guri6/Selayar, Jarissa/Selayar, HP1744/Selayar, and Vee/Selayar have a greater chance to produce transgressive segregants than the others.

Keywords : F₁ genotypes, heterosis, hybridization, topcross, transgressive segregants

PENDAHULUAN

Gandum merupakan salah satu bahan baku berbagai macam produk olah berbahan baku terigu. Kebutuhan gandum dalam negeri pun cenderung meningkat dan pemenuhannya dilakukan melalui import. BPS (2020) melaporkan bahwa Indonesia mengimpor gandum sebanyak 10.29 juta ton dengan nilai US\$ 2.6 juta. Beberapa varietas gandum yang telah dilepas adalah Selayar, Nias, Dewata, Guri 1, Guri 2 dan sampai pada Guri 8. Produksi dari varietas gandum yang ditanam selama ini masih rendah dan umumnya berasal dari introduksi. Sumarno dan Mejaya (2016) menyatakan produksi gandum di negara-negara produsen gandum berkisar 0.97 – 8 ton ha⁻¹. Sementara itu, produksi gandum di Indonesia hanya berkisar 2.9 – 4.8 ton ha⁻¹ (Erythrina dan Zaini 2016).

Gandum umumnya diproduksi oleh negara-negara di wilayah subtropis. Suhu yang dibutuhkan agar gandum dapat tumbuh optimum adalah 25 °. Sumarno dan Mejaya (2016) menyatakan hasil gandum berkisar 0.97 – 8 ton ha⁻¹ di negara-negara produsen gandum. Sementara itu, produksi gandum di Indonesia hanya berkisar 2.9 – 4.8 ton ha⁻¹ (Erythrina dan Zaini 2016). Indonesia merupakan negara beriklim tropis basah dengan temperatur rata-rata bulanan antara 25-31 °C (Heddy 2010). Peristiwa *global warming* yang diperkirakan terjadi pada tahun 2100 akan menaikkan suhu bumi 1.1-6.4 °C dan setiap kenaikan suhu 1 °C akan menyebabkan kehilangan hasil gandum sebesar 6 % (De Costa 2011; Asseng *et al.* 2015). Kondisi ini menyebabkan suhu di wilayah tropis semakin tinggi. Suhu tinggi pada fase vegetatif dan pengisian biji memberi dampak terhadap penurunan hasil gandum (Abdelrahman *et al.* 2020). Perbaikan genetik tanaman dalam meningkatkan adaptasi tanaman pada lingkungan yang suboptimum diharapkan dapat memperbaiki hasil tanaman (Akter dan Islam 2017). Perbaikan genetik ini dapat ditempuh melalui program pemuliaan tanaman. Salah satu strategi yang efisien dalam menghasilkan gandum di Indonesia adalah melalui perakitan gandum tropis. Program pemuliaan tanaman dalam merakit varietas baru dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan, diantaranya adalah hibridisasi.

Hibridisasi adalah salah satu metode yang digunakan dalam merakit varietas baru atau memperbaiki satu atau beberapa karakter dari varietas yang sudah ada. Hibridisasi bertujuan diantaranya yaitu menggabungkan semua karakter yang diinginkan dalam satu genotipe, memperluas keragaman genetik, memanfaatkan vigor hibrida dan menguji potensi tetua (Syukur *et al.* 2015). Hibridisasi dapat dilakukan pada tanaman yang berbunga dengan memahami biologi dan sistem reproduksinya. Acquaah (2012) menyatakan gandum merupakan tanaman menyerbuk sendiri dengan 1-4 % peluang menyerbuk silang secara alami.

Persilangan dua genotipe dapat menghasilkan turunan yang lebih baik dari kedua tetuanya, dan ini dikenal dengan heterosis. Nilai heterosis menunjukkan besarnya peningkatan fenotipe F₁ dibandingkan tetuanya pada karakter yang diamati. Penelitian mengenai heterosis yang memiliki penampilan lebih baik dari tetua telah banyak dilaporkan; (Singh *et al.* 2004) Dreisigacker *et al.* 2005; Espósito *et al.* 2014). Fu *et al.* (2014) menyatakan bahwa heterosis yang terjadi pada spesies allopolyploid seperti gandum, dapat memfiksasi heterosis karena kemampuannya genomnya yang relatif stabil, yaitu dihasilkan dari interaksi alel-alel dari kromosom homolog.

Segregasi yang terjadi pada generasi F₂ sering menghasilkan fenotipe yang melebihi *range* fenotipe kedua tetuanya dan hal ini dikenal dengan segregasi transgresif. Individu yang mengalami segregasi transgresif disebut dengan segregan transgresif (Rieseberg *et al.* 1999). Sutjahjo 2016) menyatakan bahwa segregasi transgresif merupakan kunci untuk pemuliaan tanaman menyerbuk sendiri untuk mengembangkan varietas inbrida. Pendugaan segregan transgresif dapat dilakukan pada generasi F₁ dan segregan transgresifnya dapat diperoleh pada generasi F₂, F₃, dan F₄ (Chahota *et al.* 2007).

Pemilihan kombinasi persilangan yang heterotik dapat memperbesar peluang untuk ditemukannya segregan transgresif pada generasi lanjut. Hal ini menunjukkan adanya hubungan heterosis dengan segregasi transgresif (Guindon *et al.* 2018). Rieseberg *et al.* (1999) menyatakan bahwa jarak genetik diantara tetua merupakan dasar dari heterosis dan memiliki korelasi positif dengan frekuensi terjadinya segregan transgresif. Semakin jauh jarak genetic maka semakin besar peluang mendapatkan segregan transgresif. Hal ini sejalan dengan yang dilaporkan oleh Cox dan Frey (1984) dan Vega dan Frey (1980). Kedua peneliti ini menyatakan bahwa semakin besar jumlah segregan transgresif dihasilkan dari persilangan oat dan barley yang semakin jauh hubungan spesiesnya. Mackay *et al.* (2021) menyatakan bahwa fenomena penting dalam pemuliaan tanaman adalah segregasi transgresif dan heterosis yang mana keduanya terkait dengan penyebaran alel-alel baik.

Aksi gen aditif sangat berperan dalam menghasilkan segregan transgresif. Pendugaan aksi gen pada generasi F₁ dapat menggunakan rasio derajat dominansi (Petr dan Frey 1966). Guindon *et al.* (2018) melaporkan bahwa aksi overdominan dan dominan parsial ditemukan pada persilangan *Pisum*

sativum L yang menghasilkan segregan transgresif pada generasi lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk (1) nilai heterosis dari setiap kombinasi persilangan; (2) menduga aksi gen, dan (3) menentukan kombinasi persilangan yang berpeluang besar menghasilkan segregan transgresif.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian telah dilaksanakan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Tanaman Hias (Balithi), Cipanas, Kab. Cianjur, pada bulan Agustus 2016 – Desember 2017. Lokasi penelitian berada pada ketinggian \pm 1100 m dpl. Pengamatan pascapanen dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pendidikan Pemuliaan Tanaman, Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Bahan dan Alat

Bahan genetik yang digunakan adalah tujuh genotipe gandum (Guri1, Guri2, Guri3, Guri6, HP1744, IS-Jarissa, dan Vee) yang disilangkan dengan varietas Selayar membentuk populasi *topcross*. Deskripsi varietas nasional disajikan pada Lampiran 1. Keunggulan Selayar adalah adaptif pada lingkungan dataran rendah (Widyawati *et al.* 2015). Varietas Guri1, Guri2, Guri3, HP1744, IS-Jarissa, dan Selayar memiliki koefisien kesamaan genetik 0.66-0.73 (Andriani *et al.* 2016). Varietas Guri3 memiliki potensi dikembangkan di dataran menengah berdasarkan bobot biji dan panjang malai (Widowati *et al.* 2016). Selayar memiliki jarak genetik dekat dengan HP1744 (Nur *et al.* 2017).

Bahan lainnya yang digunakan adalah pupuk kandang, pupuk anorganik (Urea, SP36, KCl) dan Furadan 3G. Pemupukan dilakukan dua kali, yaitu pemupukan pertama pada umur 10 hari setelah tanam (HST) dengan Urea 150 kg ha⁻¹, SP36 200 kg ha⁻¹, dan KCl 100 kg ha⁻¹ dan kedua pada umur 30 HST dengan memberikan Urea 150 kg ha⁻¹. Pemeliharaan yang dilakukan berupa pemupukan, penyiraman serta pengendalian hama dan penyakit. Aplikasi pestisida berdasarkan gejala yang ada di lapangan. Panen dilakukan pada saat tanaman sudah menguning 80% dan biji sudah keras.

Metode Penelitian

Benih F₁ gandum hasil persilangan *topcross* ditanam menggunakan rancangan kelompok lengkap teracak (RKLT) dengan 3 ulangan. Perlakuannya adalah 15 genotipe (7 populasi F₁ dan 8 genotipe tetua) sehingga terdapat 30 satuan percobaan. Setiap satuan percobaan berupa barisan sepanjang 2.5 m. Jarak tanam dalam baris adalah 20 cm sehingga dalam setiap satuan percobaan terdapat 13 individu. Pengamatan dilakukan pada 8 sampel tanaman pada setiap satuan percobaan. Pengamatan dilakukan pada umur berbunga (hari), umur panen (hari), periode pengisian biji (hari), tinggi tanaman (cm), jumlah anakan produktif, panjang malai (cm), floret hampa, jumlah biji dan bobot biji pada malai utama (g), bobot 100 biji (g), jumlah dan bobot biji per tanaman (g).

Analisis data

Penyuaian data (*adjusted*) dilakukan sebelum analisis dengan mengikuti Petersen (1994). Penyuaian data bertujuan untuk menghilangkan pengaruh lingkungan dari data individu atau famili zuriat hasil persilangan sehingga nilai fenotipe merupakan manifestasi nilai genotipenya (Jambormias dan Riry 2009). Analisis yang dilakukan adalah (1) heterosis based mid-parent (Syukur *et al.* 2015), (2) aksi gen ditentukan berdasarkan derajat dominansi (hp) mengikuti formula Petr dan Frey (1966): $hp = (F_1 - MP) / (HP - MP)$, F₁ = nilai pengamatan generasi F₁; MP = nilai tengah tetua; HP = nilai tetua terbaik. Pengelompokan aksi gen adalah sebagai berikut: Tidak ada dominansi (hp = 0); dominan penuh (hp = 1); resesif penuh (hp = - 1); dominan parsial (0 < hp < 1); resesif parsial (- 1 < hp < 0); dan over dominan (hp > 1 atau hp < -1 dan (3) Frekuensi segregan transgresif gandum berdaya hasil tinggi. Setiap F₁ tersebut dapat ditentukan nilai pemuliaannya (*breeding value*) dengan mengikuti Sharma (2008). Penduga frekuensi terjadinya segregan transgresif pada tanaman menyerbuk sendiri mengikuti formula yang digunakan oleh dan Chahota *et al.* (2007), yaitu $[d] / \sqrt{D}$, [d] merupakan pengaruh aditif = (P₁ - P₂) / 2, D adalah ragam aditif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis sidik ragam terdiri atas beberapa kombinasi F₁ dan tetuanya. Sidik ragam terhadap populasi tersebut dapat memberikan informasi keragaman atau perbedaan yang terjadi diantara tetua dan F₁ nya. Tabel 3.1 menunjukkan bahwa genotipe berperan dalam menentukan umur berbunga, umur panen, periode pengisian biji dan tinggi tanaman. Penampilan tetua dan F₁ berbeda pada karakter tersebut, kecuali F₁ pada tinggi tanaman. Sementara itu, karakter lainnya menunjukkan

perbedaan yang tidak nyata antara tetua dan F₁ nya. Hal ini sejalan dengan Abdullah *et al.* (2002) yang melaporkan bahwa tidak terjadi perbedaan panjang malai antara tetua dengan hibrida F₁ nya.

Tabel 1 Sidik ragam karakter yang diamati pada genotipe F₁ gandum

Karakter	Kuadrat Tengah				KK (%)
	Genotipe	Parent	Topcross	P vs T	
Umur berbunga	266.49*	334.66**	227.98*	88.57 tn	13.88
Umur panen	298.59**	315.46**	328.84**	15.88tn	7.92
Periode pengisian biji	211.70**	219.23**	234.54**	29.44tn	16.13
Tinggi tanaman	273.05**	359.80**	181.92 tn	299.38tn	13.96
Anakan produktif ¹	0.42 tn	0.24tn	0.61tn	0.35tn	21.01
Panjang malai	3.01tn	3.89tn	2.4tn	0.02tn	17.24
Floret hampa	195.96tn	99.63 tn	309.49tn	92.77tn	26.38
Jumlah biji malai utama ¹	0.24tn	0.08tn	0.41tn	0.21tn	13.61
Jumlah biji per tanaman ¹	1.07tn	0.73tn	1.58tn	0.00tn	17.96
Bobot 100 biji	0.36tn	0.15tn	0.62tn	0.05tn	19.84
Bobot biji malai utama ¹	0.09tn	0.02tn	0.16tn	0.08tn	36.69
Bobot biji tanaman ¹	0.86tn	0.46tn	1.40tn	0.02tn	34.31

¹ data ditransformasi menggunakan log(x+1), KK=koefisien keragaman, tn=berbeda tidak nyata, *dan** =berturut-turut berbeda nyata pada α 0.05 dan α 0.01

Persilangan pada tanaman bertujuan untuk menggabungkan karakter-karakter yang diinginkan dari kedua tetuanya. Persilangan tersebut diharapkan mampu memperbaiki nilai tengah genotipe F₁ yang dihasilkan terutama pada karakter yang menjadi target dari persilangan. Nilai tengah F₁ merupakan nilai rata-rata dari seluruh individu F₁ pada setiap kombinasi persilangan topcross. Sidik ragam pada Tabel 1 menunjukkan bahwa karakter umur berbunga, umur panen, dan periode pengisian biji dipengaruhi oleh perbedaan genotipe diantara kombinasi F₁ sehingga memungkinkan ditemukannya kombinasi yang lebih baik dari tetuanya untuk ketiga karakter tersebut. Berdasarkan kondisi ini maka memungkinkan ditemukannya segregan transgresif pada ketiga karakter ini pada generasi berikutnya. Parameter yang dapat memberikan informasi tentang peningkatan/penurunan nilai tengah suatu kombinasi F₁ dibandingkan nilai tengah kedua tetuanya dikenal dengan heterosis

Tabel 2 Nilai heterosis dan aksi gen karakter umur berbunga dan umur panen gandum

Genotipe F ₁	Umur berbunga					Umur panen				
	P ₁ (hari)	P ₂ (hari)	F ₁ (hari)	H (%)	Aksi gen	P ₁ (hari)	P ₂ (hari)	F ₁ (hari)	H (%)	Aksi gen
Guri1/Selayar	60.17	58.58	70.23	18.28	OD	124.33	106.65	105.83	-8.36	RP
Guri2/Selayar	66.47	58.58	73.41	17.41	OD	122.93	106.65	118.83	3.52	RP
Guri3/Selayar	70.67	58.58	64.44	-0.28	DP	114.50	106.65	106.00	-4.14	OD
Guri6/Selayar	69.27	58.93	62.38	-2.68	DP	119.62	108.64	122.83	7.62	OD
HP1744/Selayar	57.93	59.52	78.20	33.16	OD	98.85	107.73	126.33	22.31	OD
Jarissa/Selayar	90.33	58.85	66.17	-11.29	DP	131.67	108.31	124.67	3.90	RP
Vee/Selayar	66.81	60.68	87.14	36.70	OD	117.78	108.81	133.79	18.09	OD

P₁= tetua1; P₂= tetua2; F₁=turunan pertama; H=heterosis; DP=dominan parsial, RP=resesif parsial, OD=dominan parsial

Munculnya bunga sebagai tanda berakhirnya fase vegetatif pada tanaman dan dimulainya fase generatif. Umur berbunga pada genotipe F₁ Guri3/Selayar, Guri6/Selayar, dan Jarissa/Selayar lebih genjah dibandingkan nilai tengah kedua tetuanya. Hal ini ditunjukkan dengan nilai heterosisnya yang negatif. Penurunan umur berbunga paling besar terdapat pada genotipe F₁ Jarissa/Selayar yaitu sebesar -11.29% walaupun umur berbunganya masih sedikit lebih lama dibandingkan tetua Selayar (58.85 hari). IS-Jarissa merupakan genotipe introduksi yang memiliki umur berbunga paling dalam dibandingkan tetua lainnya. Kumar *et al.* (2020) menyatakan bahwa kombinasi persilangan yang

menghasilkan nilai negative pada umur berbunga akan dapat menghasilkan turunan yang genjah. Sementara itu, F₁ yang menggunakan tetua introduksi lainnya yaitu F₁ HP1744/Selayar dan Vee/Selayar memiliki peningkatan umur berbunga yang lebih tinggi dibandingkan F₁ lainnya. Hal ini ditunjukkan dengan nilai heterosisnya yang besar dan positif, yaitu masing-masing 33.16 % dan 36.70 % (Tabel 2).

Tabel 2 menunjukkan bahwa tetua HP1744 merupakan genotipe yang paling genjah, yaitu berbunga pada umur 57.93 hari dan panen pada umur 98.85 hari. Nur (2013) melaporkan HP1744 memiliki umur berbunga 43 HST yang ditanam pada elevasi 1100 m dpl. Genotipe F₁ Guri2/Selayar, HP1744/Selayar, dan Vee/Selayar mengalami peningkatan umur berbunga yang sejalan dengan umur panennya. Semakin cepat berbunga maka semakin cepat panen, dan sebaliknya. Berbeda halnya dengan genotipe F₁ Jarissa/Selayar dan Guri6/Selayar lebih cepat berbunga namun umur panennya sedikit lebih lama dibandingkan nilai tengah kedua tetuanya yang ditunjukkan dengan nilai heterosis yang positif. Hal ini menjelaskan bahwa penurunan umur berbunga tidak selalu linear dengan umur panen yang cepat. Genotipe HP1744/Selayar dan Vee/Selayar memiliki aksi gen yang sama pada umur berbunga dan panen, yaitu overdominan. Aksi gen ini menyebabkan F₁ memiliki umur berbunga dan panen yang lebih dalam dibandingkan tetuanya.

Tabel 3 Nilai heterosis dan aksi gen karakter periode pengisian biji dan tinggi gandum

Genotipe F ₁	Periode pengisian biji					Tinggi tanaman				
	P ₁ (hari)	P ₂ (hari)	F ₁ (hari)	H (%)	Aksi gen	P ₁ (hari)	P ₂ (hari)	F ₁ (hari)	H (%)	Aksi gen
Guri1/Selayar	64.16	48.07	35.60	-36.56	OD	58.88	54.59	56.40	-0.59	RP
Guri2/Selayar	56.67	48.07	45.42	-13.10	OD	54.33	54.59	62.07	13.96	OD
Guri3/Selayar	43.83	48.07	41.56	-9.56	OD	72.89	54.59	77.06	20.89	OD
Guri6/Selayar	50.35	49.71	60.45	20.83	OD	77.64	53.88	61.88	-5.90	RP
HP1744/Selayar	40.92	48.21	48.13	8.01	DP	55.77	52.88	57.47	5.78	OD
Jarissa/Selayar	41.33	49.46	58.50	28.87	OD	81.33	53.63	58.33	-13.56	RP
Vee/Selayar	50.97	48.13	46.64	-5.86	OD	62.78	52.38	53.03	-7.90	RP

P₁= tetua1; P₂= tetua2; F₁=turunan pertama; H=heterosis; DP=dominan parsial, RP=resesif parsial, OD=dominan parsial

Rentang waktu antara umur berbunga hingga panen dapat digunakan dalam menghitung periode pengisian biji. Genotipe Guri6/Selayar memiliki periode pengisian biji paling lama diantara yang lain (Tabel 3). Periode pengisian biji yang lama dan didukung oleh lingkungan yang optimum dapat menghasilkan biji gandum yang berisi penuh dan besar. Hal ini ditunjukkan oleh bobot 100 bijinya yang paling besar dibandingkan yang lain (Tabel 5). Aksi gen yang mengendalikan karakter ini adalah sama untuk semua populasi, yaitu overdominan.

Tanaman yang tinggi dapat meningkatkan luas area terjadinya fotosintesis sehingga diharapkan dapat meningkatkan akumulasi asimilat pada biji. Tabel 3 menunjukkan genotipe F₁ Guri2/Selayar, Guri3/Selayar, dan HP1744/Selayar memiliki nilai heterosis yang positif. Hal ini menjelaskan bahwa terjadi pertambahan tinggi dibandingkan kedua tetuanya. Walaupun populasi lainnya memiliki nilai heterosis yang negatif namun tinggi tanaman populasi tersebut masih berada diantara kisaran tinggi kedua tetuanya. Aksi gen resesif parsial cenderung menyebabkan berkurangnya tinggi tanaman dibandingkan mid-parentnya.

Tabel 4 Nilai heterosis pada karakter jumlah anakan produktif dan panjang malai gandum

Genotipe F ₁	Jumlah anakan produktif					Panjang malai (cm)				
	P ₁	P ₂	F ₁	H (%)	Aksi gen	P ₁ (cm)	P ₂ (cm)	F ₁ (cm)	H (%)	Aksi gen
Guri1/Selayar	2.58	1.89	2.62	17.05	OD	7.66	7.65	8.28	8.22	OD
Guri2/Selayar	2.40	1.89	2.76	28.82	OD	7.93	7.65	9.10	16.83	OD
Guri3/Selayar	2.50	1.89	2.74	24.75	OD	9.67	7.75	9.23	6.66	DP
Guri6/Selayar	2.77	2.00	2.44	2.16	DP	9.94	7.89	8.57	-3.91	RP
HP1744/Selayar	1.91	1.80	1.73	-6.68	OD	7.55	7.56	8.29	9.69	OD
Jarissa/Selayar	2.59	1.82	1.71	-22.45	OD	6.90	7.75	6.42	-12.41	OD
Vee/Selayar	2.67	1.85	2.13	-5.80	RP	7.83	7.58	6.42	-12.41	OD

P₁= tetua1; P₂= tetua2; F₁=turunan pertama; H=heterosis; DP=dominan parsial, RP=resesif parsial, OD=dominan parsial

Jumlah anakan pada tanaman gandum mulai berkurang ketika memasuki fase generatif sehingga pada akhir panen akan tersisa anakan yang menghasilkan malai yang dikenal dengan anakan produktif. Semua genotipe F₁ memiliki nilai heterosis yang positif kecuali HP1744/Selayar, Jarissa/Selayar, dan Vee/Selayar. Ketiga genotipe ini mengalami pengurangan jumlah anakan produktifnya bahkan lebih sedikit dari tetua Selayar, kecuali F₁ Vee/Selayar (Tabel 3.4). Umumnya jumlah anakan produktif dikendalikan oleh over dominan yang menyebabkan jumlah anakan produktif lebih tinggi atau lebih rendah dari tetuanya.

Malai utama pada tanaman gandum merupakan malai yang muncul dari batang utama. Panjang malai utama diukur mulai leher malai hingga ujung malai dan tidak termasuk *awned*. Malai yang panjang berpotensi memiliki spikelet yang banyak. Panjang malai pada genotipe F₁ Guri2/Selayar memiliki heterosis tertinggi dibandingkan lainnya dan diikuti oleh HP1744/Selayar dan Guri1/Selayar (Tabel 3.4). Panjang malai merupakan karakter komponen hasil penting yang dapat mendukung munculnya lebih banyak spikelet per malai dan pada akhirnya meningkatkan hasil (Ullah *et al.* 2021). Aksi gen over dominan dapat menyebabkan malai F₁ lebih panjang atau bahkan lebih rendah dari mid-parentnya. Genotipe Guri6/Selayar memiliki penurunan panjang malai yang dikendalikan oleh aksi gen resesif parsial.

Suhu yang tinggi pada fase anthesis dapat menyebabkan kegagalan dalam pembentukan biji gandum. Suhu optimum bagi pembungaan dan pengisian biji gandum berada dalam kisaran 12 - 22°C (Sharma *et al.*, 2019). Suhu maksimum selama penelitian berkisar 25,6 – 27,8 °C (BMKG 2018). Hal ini menunjukkan bahwa tanaman gandum mengalami cekaman suhu tinggi dan dapat dilihat dari jumlah floret hampunya yang tinggi. Tekanan lingkungan selama proses polinasi dan fertilisasi yang tidak kondusif meningkatkan persentase floret hampa. Mirosavljević *et al.* (2021) menyatakan bahwa cekaman suhu tinggi pada saat anthesis dan juga saat pengisian biji dapat menekan jumlah biji per malai lebih besar dibandingkan jika cekaman suhu hanya pada saat anthesis. Genotipe F₁ Guri6/Selayar, Guri1/Selayar, Guri2/Selayar, dan Vee/Selayar memiliki heterosis yang negatif yang menunjukkan persentase floret hampunya lebih rendah dibandingkan kedua tetuanya (Tabel 5). Berkurangnya floret hampa mengindikasikan bahwa tanaman tersebut lebih toleran terhadap suhu tinggi pada saat anthesis. Aksi gen yang mengendalikan karakter ini adalah overdominan yang menyebabkan jumlah floret hampa pada genotipe F₁ berada di luar kisaran kedua tetuanya.

Tabel 5 Nilai heterosis karakter floret hampa dan bobot 100 biji gandum

Genotipe F ₁	Floret hampa					Bobot 100 biji				
	P ₁	P ₂	F ₁	H (%)	Aksi gen	P ₁ (g)	P ₂ (g)	F ₁ (g)	H (%)	Aksi gen
Guri1/Selayar	56.78	55.50	42.46	-24.36	OD	2.77	3.42	3.68	18.89	OD
Guri2/Selayar	54.70	55.50	42.24	-23.34	OD	3.01	3.42	3.51	9.09	OD
Guri3/Selayar	55.75	55.50	64.22	15.45	OD	3.09	3.42	3.32	2.07	DP
Guri6/Selayar	63.75	55.77	41.01	-31.38	OD	3.24	3.40	3.67	10.61	OD
HP1744/Selayar	48.08	56.65	62.58	19.51	OD	3.50	3.46	2.70	-22.30	OD
Jarissa/Selayar	49.48	55.41	57.02	8.72	OD	3.13	3.40	2.62	-19.65	OD
Vee/Selayar	47.84	54.06	46.04	-9.63	OD	3.18	3.45	2.90	-12.55	OD

P₁= tetua1; P₂= tetua2; F₁=turunan pertama; H=heterosis; DP=dominan parsial, OD=dominan parsial

Pengamatan bobot 100 biji ini dapat menggambarkan ukuran biji dari suatu tanaman. Nilai heterosis bobot 100 biji yang tinggi dan positif terdapat pada genotipe F₁ Guri1/Selayar yang diikuti oleh Guri6/Selayar, Guri2/Selayar, dan Guri3/Selayar (Tabel 5). Hal ini menunjukkan terjadi peningkatan ukuran biji F₁ dibandingkan nilai tengah tetuanya dan bahkan melebihi tetua dengan ukuran terbesar, kecuali Guri3/Selayar. Tetua HP1744 memiliki ukuran biji paling besar namun turunan pertama hasil persilangannya dengan Selayar tidak menghasilkan biji yang lebih besar. Hal ini dapat dilihat dari nilai heterosisnya yang negatif (-22.30 %). Aksi gen yang ditemukan mengendalikan bobot 100 biji adalah umumnya adalah over dominan. Roy *et al.* (2021) menyatakan bahwa bobot 1000 butir pada penelitiannya memiliki pengaruh yang langsung terhadap hasil

Malai utama muncul lebih awal dan diikuti oleh malai-malai lainnya. Proses pengisian biji malai ini lebih awal dibandingkan malai lainnya sehingga akumulasi fotosintat cenderung lebih banyak pada malai utama. Tabel 6 menunjukkan peningkatan jumlah dan bobot biji pada malai utama terdapat pada genotipe F₁ Guri1/Selayar, Guri2/Selayar, Guri6/Selayar dan Vee/Selayar dibandingkan dengan tetuanya yang ditunjukkan dengan nilai heterosis yang positif. Hal ini sejalan dengan penurunan persentase floret hampa (Tabel 3.5). Aksi gen over dominan mengendalikan jumlah dan bobot biji malai utama, kecuali genotipe Guri3/Selayar pada jumlah biji malai utama. Boeven *et al.*

(2020) menyatakan bahwa nilai heterosis yang disebabkan oleh aksi gen overdominan dapat dimaksimalkan dengan meningkatkan jarak genetik tetua

Tabel 3.6 Nilai heterosis karakter jumlah dan bobot biji malai utama gandum

Genotipe F ₁	Jumlah biji malai utama					Bobot biji malai utama				
	P ₁	P ₂	F ₁	H (%)	Aksi gen	P ₁ (g)	P ₂ (g)	F ₁ (g)	H (%)	Aksi gen
Guri1/Selayar	3.45	3.38	3.93	14.97	OD	0.67	0.71	1.03	49.85	OD
Guri2/Selayar	3.56	3.38	4.03	16.02	OD	0.77	0.71	1.08	46.49	OD
Guri3/Selayar	3.46	3.38	3.39	-0.98	RP	0.72	0.71	0.62	-13.34	OD
Guri6/Selayar	3.30	3.43	3.78	12.35	OD	0.63	0.72	0.96	41.48	OD
HP1744/Selayar	3.45	3.33	3.15	-7.12	OD	0.76	0.68	0.57	-21.12	OD
Jarissa/Selayar	3.24	3.39	3.13	-5.37	OD	0.62	0.70	0.55	-16.39	OD
Vee/Selayar	3.73	3.39	3.76	5.44	OD	0.86	0.73	0.85	7.14	OD

P₁= tetua1; P₂= tetua2; F₁=turunan pertama; H=heterosis; transformasi data log (x+1); RP=resesif parsial, OD=dominan parsial

Produksi tanaman sereal seperti gandum dapat diukur melalui kemampuannya menghasilkan biji sehingga bobot biji tanaman banyak dijadikan target dalam perakitan varietas baru. Tabel 7 menunjukkan bahwa genotipe F₁ Guri1/Selayar, Guri2/Selayar, dan Guri6/Selayar memiliki heterosis yang positif pada karakter jumlah dan bobot biji per tanaman. Peningkatan terbesar terdapat pada genotipe Guri2/Selayar untuk kedua karakter tersebut, masing-masing 22.58 % dan 54.88 %. Hal ini menggambarkan bahwa terdapat korelasi positif jumlah biji dan bobot biji per tanaman. Akhter *et al.* (2003) melaporkan bobot biji per tanaman pada persilangan gandum P3 x P6 memiliki heterosis sebesar 110.34 %. Kajla *et al.* (2020) menyatakan bahwa hibrida superior yang ditunjukkan oleh heterosis yang tinggi mengindikasikan kombinasi persilangan tetua tersebut mampu menghasilkan frekuensi segregasi transgresif yang tinggi. Berbeda halnya dengan F₁ Vee/Selayar, peningkatan jumlah biji tidak sejalan dengan peningkatan bobot biji per tanaman. Jumlah biji genotipe ini meningkat namun jika dilihat dari bobot 100 butirnya maka dapat disimpulkan bahwa ukuran biji F₁ Vee/Selayar ini kecil bahkan lebih kecil dari kedua tetuanya sehingga peningkatan jumlah biji per tanaman menghasilkan bobot biji yang masih berada dibawah nilai tengah kedua tetuanya (-2.11 %).

Tabel 7 Nilai heterosis jumlah dan bobot biji per tanaman pada tujuh genotipe F₁ gandum

Genotipe F ₁	Jumlah biji per tanaman					Bobot biji per tanaman				
	P ₁	P ₂	F ₁	H (%)	Aksi gen	P ₁ (g)	P ₂ (g)	F ₁ (g)	H (%)	Aksi gen
Guri1/Selayar	5.70	5.00	6.07	13.53	OD	2.25	1.83	2.93	43.79	OD
Guri2/Selayar	5.65	5.00	6.53	22.58	OD	2.32	1.83	3.22	54.88	OD
Guri3/Selayar	5.81	5.00	5.33	-1.35	RP	2.46	1.83	1.97	-8.11	RP
Guri6/Selayar	5.87	5.17	5.81	5.29	DP	2.54	1.95	2.62	16.62	OD
HP1744/Selayar	5.10	4.93	4.70	-6.33	OD	1.96	1.76	1.45	-21.91	OD
Jarissa/Selayar	4.59	4.99	4.50	-6.14	OD	1.45	1.81	1.51	-7.47	RP
Vee/Selayar	5.93	5.01	5.61	2.57	DP	2.53	1.84	2.14	-2.11	DP

P₁= tetua1; P₂= tetua2; F₁=turunan pertama; H=heterosis; transformasi data log (x+1); DP=dominan parsial, RP=resesif parsial, OD=dominan parsial

Turunan hasil persilangan akan memiliki sebagian kromosom yang berasal dari masing-masing tetuanya. Pengaruh rata-rata gen tetua dapat ditentukan dari nilai tengah turunannya. Untuk mengetahui nilai suatu genotipe tetua dikenal dengan istilah nilai pemuliaan. Nilai ini merupakan nilai yang ditransfer oleh suatu individu kepada turunannya (Acquaah 2012). Nilai pemuliaan biasanya ditunjukkan dalam bentuk penyimpangan nilai terhadap rata-rata populasi. Nilai pemuliaan suatu individu adalah rata-rata nilai pemuliaan dari kedua tetuanya dan juga merupakan nilai fenotipik yang diharapkan (Falconer dan Mackay 1996).

Tabel 8 menunjukkan bahwa nilai pemuliaan bervariasi antar populasi. Ragam nilai pemuliaan disebut juga dengan ragam aditif yang menjadi penyebab kemiripan antar kerabat (Falconer dan Mackay 1996). Nilai pemuliaan merupakan representasi dari nilai daya gabung umum (DGU) maka semakin besar nilai pemuliaan maka semakin besar nilai DGU (Sharma 1988). DGU menggambarkan kemampuan suatu genotipe untuk menghasilkan kemampuan rata-rata keturunannya yang tinggi bila

disilangkan dengan sejumlah genotipe lainnya. Oleh karena itu, DGU ini menunjukkan kemampuan tetua Selayar jika disilangkan dengan genotipe lainnya.

Tabel 8 Nilai pemuliaan, rata-rata pada karakter bobot biji per tanaman

Tetua	Nilai pemuliaan	Rataan tetua	\bar{F}_1 (Rataan F_1)
Guri1	0.90	2.25	2.93
Guri2	1.28	2.32	3.22
Guri3	-0.39	2.46	1.97
Guri6	-1.09	2.54	2.62
HP1744	-1.09	1.96	1.45
Jarissa	-1.01	1.45	1.51
Vee	-0.16	2.53	2.14

Tetua Guri1 dan Guri2 memiliki nilai pemuliaan yang tinggi dibandingkan tetua lainnya dan ini menunjukkan bahwa karakter bobot biji per tanamannya dapat diwariskan. Kombinasi kedua genotipe ini dengan Selayar menghasilkan rata-rata bobot biji per tanaman yang tinggi jika dibandingkan genotipe F_1 yang lain (Tabel 8). Hal ini menunjukkan bahwa Selayar memberikan pengaruh yang baik jika disilangkan dengan Guri1 dan Guri2 serta potensial untuk dikembangkan lebih lanjut dalam peningkatan bobot biji per tanaman.

Jink dan Pooni (1976) mengusulkan pendekatan melakukan *screening* pada generasi awal untuk menentukan kombinasi F_1 yang potensial menghasilkan segregan transgresif pada generasi lanjut. Pendekatan secara biometrik menggunakan rasio pengaruh aditif ([d]) dan ragam aditif (D). Nilai [d] dapat didekati dengan nilai tengah dari selisih tetua ($\Delta P/2$). Semakin kecil rasionya maka semakin besar peluang ditemukan segregan transgresif pada generasi lanjut (Kuczyńska *et al.* 2007a; Chahota *et al.* 2007).

Tabel 9 menunjukkan F_1 Guri3/Selayar, Guri6/Selayar, HP1744/Selayar, Jarissa/Selayar, dan Vee/Selayar berpeluang lebih besar menghasilkan segregan transgresif. Hal ini ditunjukkan dengan rasio $[d]/\sqrt{D}$ yang paling kecil dibandingkan genotipe lainnya. Kuczyńska *et al.* (2007b) menyatakan segregasi transgresif lebih sering terjadi jika perbedaan antara fenotipe kedua tetuanya kecil, ragam aditif yang tinggi dan dengan asumsi tidak ada interaksi GxE, epistasis dan *linkage*. Sementara itu, genotipe Guri1/Selayar dan Guri2/Selayar memiliki rasio $[d]/\sqrt{D}$ paling besar dari yang lainnya sehingga peluang ditemukannya segregan transgresif pada generasi lanjut tidak sebesar genotipe lainnya. Kedua genotipe ini memiliki nilai heterosis bobot biji per tanaman yang paling besar dengan aksi gen yang sama, yaitu over dominan (Tabel 7). Berdasarkan hasil ini dapat dilihat semakin besar nilai heterosisnya maka peluang ditemukannya segregan transgresif semakin kecil pada generasi lanjut.

Tabel 9 Pendugaan segregan transgresif berdasarkan bobot biji per tanaman gandum

Genotipe F_1	[d]	D	$[d]/\sqrt{D}$
Guri1/Selayar	0.21	0.90	0.22
Guri2/Selayar	0.24	1.28	0.21
Guri3/Selayar	0.31	-0.39	0.00
Guri6/Selayar	0.30	-1.09	0.00
HP1744/Selayar	0.10	-1.09	0.00
Jarissa/Selayar	0.18	-1.01	0.00
Vee/Selayar	0.34	-0.16	0.00

P_1 = tetua1; P_2 = tetua2; F_1 =turunan pertama; [d]= $P_1 - P_2$, D=ragam aditif

Genotipe F_1 Guri/selayar dan Guri2/Selayar merupakan kombinasi terbaik dalam menghasilkan bobot biji per tanaman yang ditunjukkan oleh nilai heterosisnya. Surma (1996) *di dalam* Kuczyńska *et al.* (2007a) bekerja dengan beberapa populasi double haploid barley menemukan fenomena bahwa tetua A35 dengan DGU positif pada karakter bobot biji per malai dan bobot 1000 butir menghasilkan segregan transgresif berturut-turut 11.5 % dan 15.4 % namun hubungan DGU dengan segregasi transgresif tidak konsisten misalnya persilangan A35 lainnya yang memiliki DGU positif pada karakter kandungan protein namun tidak ada ditemukan segregan transgresif yang arah

positif. Beberapa persilangan lainnya yang tetua memiliki DGU negatif pada karakter tertentu namun ditemukannya segregan transgresif yang arah positif. Hal ini menunjukkan bahwa informasi DGU tidak cukup memprediksi kombinasi persilangan yang potensial menghasilkan segregan transgresif. Kuczyńska *et al.* (2007b) menyatakan bahwa frekuensi segregasi transgresif ditentukan oleh sebaran gen.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa terdapat kombinasi persilangan yang mempunyai nilai heterosis tinggi (karakter jumlah anakan produktif, bobot biji malai utama, dan bobot biji per tanaman) dan aksi gen yang mengendalikan karakter hasil dan komponen hasil gandum di dataran tinggi adalah aksi gen overdominan, dominan parsial, dan resesif parsial. Terdapat persilangan yang mempunyai peluang besar menghasilkan segregan transgresif berdasarkan pendugaan nilai rasio $[d]/\sqrt{D}$, yaitu kombinasi persilangan Guri3/selayar, Guri6/Selaya, HP1744/Selayar, Jarissa/Selayar, dan Vee/Selayar pada karakter bobot biji per tanaman.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada Kemenristek Dikti atas dana penelitian pada skim Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) tahun anggaran 2018 dengan no kontrak: 129/SP2H/PTNBH/DRPM/2018 tanggal 1 Februari 2018 dengan ketua peneliti Dr. Ir. Yudiwanti Wahyu, MS.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdennadher, M 1991, 'Estimates of genetic variability resulting from single, top, and double cross population in Durum wheat', Disertasi, Oregon State University, United States.
- Abdullah GM, Khan AS & Ali, Z 2002, 'Heterosis study of certain important traits in wheat', *Int. J. Agric Biol.*, vol.4, no.3, pp.326–328.
- Acquaah, G 2012, *Principles of plant genetics breeding*, Second, Wiley-Blackwell, Oxford, UK.
- Akhter, Z, Shamsuddin, AK, Rohman, M, Uddin, MS, Ud-din, MM & Alam AKM 2003, 'Studies on heterosis for yield and yield components in wheat', *J. Biol. Sci.*, vol. 3, no. 10, pp. 892–897.
- Andriani, A, Reflinur & Pabendon, MB 2016, 'Genetic diversity analysis of wheat germplasm collection of Indonesian cereals research institute using SSR markers', Di dalam: Elviandri, Y, editor. *SABRAO 13th Congress and International Conference* hal. 71–85, IPB Press, Bogor.
- Badan Pusat Statistik 2021, *Impor biji gandum dan meslin menurut negara asal utama*, diunduh 25 Oktober 2021, < <https://www.bps.go.id/statictable/2019/02/14/2016/impor-biji-gandum-dan-meslin-menurut-negara-asal-utama-2010-2020.html>>.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika [BMKG]. 2018. Data Suhu wilayah Pacet, Cipanas.Pos Hujan: SMPK Pacet. Stasiun Klimatologi Bogor. Jl. Alternatif IPB-Situ Gede, Bogor
- Bertan, I, de Carvalho, FIF & de Oliveira AC 2005, 'Parental selection strategies in plant breeding programs', *J. Crop. Sci. Biotechnol.*, vol.10, no. 4, pp. 211–222.
- Boeven, PHG, Zhao, Y, Thorwarth, P, Liu, F, Maurer, HP, Gils, M, Schachschneider, R, Schacht, J, Ebmeyer, E & Kazman, E 2020, 'Negative dominance and dominance-by-dominance epistatic effects reduce grain-yield heterosis in wide crosses in wheat', *Sci. Adv.*, vol.6, no.24, pp.1–12.
- Chahota, RK, Kishore, N, Dhiman, KC, Sharma, TR & Sharma, SK 2007, 'Predicting transgressive segregants in early generation using single seed descent method-derived micro-macrosperma genepool of lentil (*Lens culinaris* Medikus)', *Euphytica*, vol.156, no. 3, pp. 305–310.
- Cox, D.J, Frey, K.J. 1984. Combining ability and selection of parents for interspecific oat mating. *Crop Science*, vol 24, no. 5, pp. 963-967
- Dreisigacker, S, Melchinger, AE, Zhang, P, Ammar K, Flachenecker C, Hoisington D & Warburton ML 2005, 'Hybrid performance and heterosis in spring bread wheat, and their relations to SSR-based genetic distances and coefficients of parentage', *Euphytica*, vol. 144, no.1–2, pp. 51–59.
- Espósito, MA, Bermejo, C, Gatti I, Guindón, MF, Cravero, V & Cointy, EL 2014, 'Prediction of heterotic crosses for yield in *Pisum sativum* L', *Sci. Hortic.*, vol.177, pp. 53–62.
- Erythrina & Zaini, Z 2016, 'Gandum: Peluang pengembangan di Indonesia', Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros.
- Falconer, D & Mackay, T 1996, *Introduction to quantitative genetics*, Ed ke-4, Harlow, Longman,
- Fu, D, Xiao, M, Hayward A, Fu Y, Liu G, Jiang G & Zhang, H 2014, 'Utilization of crop heterosis: A review', *Euphytica*, vol. 197, no.2, pp. 161–173.
- Guindon, MF, Martin E, Cravero V & Cointy, E 2018, 'Transgressive segregation, heterosis and heritability for yield-related traits in a segregating population of *Pisum Sativum* L', *Exp. Agric.*, vol.

55, no. 4, pp. 610–620.

- Hedy S 2010, 'Agroekosistem: Permasalahan lingkungan pertanian: Masalah dan solusinya', Rajawali Press, Jakarta.
- Ullah, MI, Mahpara, S, Bibi, R, Shah, RU, Ullah R, Abbas, S, Ullah, MI, Hassan, AM, El-Shehawi, AM, Brestic, M, Zivcak, M & Khan, MI 2021, 'Grain yield and correlated traits of bread wheat lines: implications for yield improvement', *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 28, no. 10, pp. 5714–5719.
- Jambormias E & Riry J 2009, 'Penyuaian data dan penggunaan informasi kekerabatan untuk mendeteksi segregan transgresif sifat kuantitatif pada tanaman menyerbuk sendiri (Suatu pendekatan dalam seleksi)', *Budid Pertan.*, vol. 5, no.1, pp. 11–18.
- Kajla, SL, Sharma, AK & Singh H 2020, 'Heterosis analysis in F1 hybrids of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) over environments', *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, vol.9, no. 5, pp. 2052–2057.
- Kuczyńska, A, Surma, M & Adamski, T 2007, 'Methods to predict transgressive segregation in barley and other self-pollinated crops', *J. Appl. Genet.*, Vol.48, no. 4, pp. 321–328.
- Kuczyńska, A, Surma, M, Kaczmarek, Z & Adamski, T 2007, 'Relationship between phenotypic and genetic diversity of parental genotypes and the frequency of transgression effects in barley (*Hordeum vulgare* L.)', *Plant Breed.*, Vol.126, no. 4, pp. 361–368.
- Kumar, D, Panwar, IS, Singh, V, Choudhary, RR & Samita 2020, 'Heterosis studies using Diallel analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.)', *Int. J. Chem. Stud.*, vol. 8, no. 4, pp. 2353–2357.
- Mackay, IJ, Cockram, J, Howell, P & Powell, W 2021, 'Understanding the classics: the unifying concepts of transgressive segregation, inbreeding depression and heterosis and their central relevance for crop breeding', *Plant Biotechnol J.*, vol.19, no. 1, pp. 26–34.
- Mirosavljević, M, Mikić, S, Špika, AK, Župunski, V, Zhou, R, Abdelhakim, L & Ottosen, CO 2021, 'The effect of heat stress on some main spike traits in 12 wheat cultivars at anthesis and mid-grain filling stage', *Plant, Soil Environ.*, vol. 67, no. 2, pp.71–76.
- Nur, A 2013, 'Adaptasi gandum (*Triticum aestivum* L.) toleran suhu tinggi dan peningkatan keragaman genetik melalui induksi mutasi dengan menggunakan iradiasi sinar gamma', Disertasi, Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Nur, A, Syahrudin, K & Pabendon, MB 2017, 'Keragaman genetik populasi gandum hasil persilangan konvergen', *Penelit. Pertan. Tanam. Pangan.*, vol. 1, no. 2, pp.143–152.
- Oury, FX, Brabant, P, Bérard, P & Pluchard P 2000, 'Predicting hybrid value in bread wheat: Biometric modelling based on a "top-cross" design', *Theor. Appl. Genet.*, vol. 100, no. 1, pp. 96–104.
- Petersen, RG 1994, *Agricultural Field Experiments: Design and Analysis*, Marcel Dekker, Inc, Harlow, Longman.
- Petr, F & Frey, K 1966, 'Genotype correlation, dominance, and heritability of quantitative characters in oat', *Crop Sci.*, vol 6, pp. 259–262.
- Rieseberg, LH, Archer, MA & Wayne RK 1999, 'Short review: transgressive segregation, adaptation and speciation', *Heredity*, vol. 83, pp. 363–372.
- Roy, A, Kumar, A, Babu, K, Singh, A & Sisidiya, S 2021, 'Estimation of heterosis for grain yield and yield attributes in bread', *Environ. Conserv. J.*, vol. 22, no. 3, pp. 85–95.
- Sharma, J 1988, *Statistical and Biometrical Techniques in Plant Breeding*, New Age International Publisher, New Delhi.
- Sharma, D., Singh, R., Tiwari, R., Kumar, R., Gupta, V.K. 2019. Wheat responses and tolerance to terminal heat stress: A review. In: *Wheat Production in Changing Environments*. Hasanuzzaman M (Ed.) Springer Nature Singapore Pte Ltd. Pp,149-173. Doi: 10.1007/978-981-12-6883-7_7
- Singh, H, Sharma, SN & Sain RS 2004, 'Heterosis studies for yield and its components in bread wheat over environments', *Hereditas*, vol. 114, pp. 106-114.
- Sutjahjo, SH 2016, *Peranan pemuliaan tanaman dalam peningkatan produktivitas pertanian melalui pemanfaatan fenomena heterosis dan segregan transgresif*, Buku Orasi, IPB Press, Bogor.
- Syukur, M, Sujiprihati, S & Yuniarti, R 2015, *Teknik pemuliaan tanaman*, Revisi, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Vega, U, Frey K.J. 1980. Transgressive segregation in inter and intraspecific crosses of barley. *Euphytica*, vol 29, no. 3, pp. 585 – 594.
- Widowati, S, Khumaida, N, Ardie, SW & Trikoesoemaningtyas 2016, 'Karakterisasi morfologi dan sifat kuantitatif gandum (*Triticum aestivum* L.) di dataran menengah', *J. Agron. Indones.*, vol. 44, no. 2, pp. 162–169.
- Widyawati, N, Kurnia, TD & Murdono D 2015, 'Dynamization performance of thirteen wheat genotypes during three planting season for adaptation in tropical lowland', *Agrivita*, vol. 37, no. 2, pp. 115–122.

