

Heritabilitas dan Kemajuan Genetik Dua Populasi F₂ untuk Beberapa Sifat Agronomi dari Turunan Padi Mutan Rojolele

Heritability and Genetic Advance of Two F₂ Populations Based on Agronomy Trait from Rojolele Mutant Rice Offsprings

Muhammad Hamzah Solim¹, Khairul Yusuf Nasution^{1*}

¹Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Indonesia

*E-mail: khai007@brin.go.id / khairulnasution678@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keragaman yang muncul pada populasi padi F₂ dari hasil persilangan antara induk tanaman mutan (padi lokal: Rojolele) dengan tanaman mutan (Rojolele Srinar dan Rojolele Sriten), dan menghitung nilai heritabilitas serta kemajuan genetik populasi F₂ hasil persilangan R. Srinar dengan Rojolele (SIR) dan R. Sriten dengan Rojolele (SER). Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari sampai Juli 2022 di rumah kaca dan lahan percobaan Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, Jakarta. Dua populasi F₂ hasil persilangan SIR dan SER, dan tiga induk persilangan digunakan dalam penelitian ini. Secara berurutan, sebanyak 221 dan 204 sampel tanaman SIR dan SER, dan sebanyak 16 tanaman yang mewakili masing-masing induk. Penelitian ini menggunakan analisis *skewness* dan *kurtosis* untuk melihat pendugaan aksi gen dan jumlah gen pada populasi F₂ persilangan SIR dan SER untuk 5 (lima) karakter, yaitu umur berbunga, tinggi tanaman, panjang malai, panjang daun bendera, dan jumlah anakan. Umur berbunga pada F₂ persilangan SIR diduga terdapat interaksi epistasi, seperti aksi gen komplementer dengan melibatkan banyak gen, sedangkan pada karakter lainnya dikendalikan sedikit gen dengan beberapa variasi aksi gen. Di samping itu, pada F₂ persilangan SER ditemukan hanya pada karakter jumlah anakan yang dikendalikan oleh banyak gen dengan aksi gen aditif. Untuk nilai ragam genotipe dan fenotipe pada populasi F₂ hasil persilangan SIR dan SER ditemukan nilai yang tinggi sehingga dikategorikan memiliki keragaman yang luas. Kelima karakter agronomi populasi F₂ persilangan SIR dan SER menunjukkan kriteria heritabilitas tinggi. Lebih lanjut, pada persentase kemajuan genetik (KG), semua termasuk berkriteria tinggi, kecuali pada umur berbunga pada F₂ SIR, sedangkan KG populasi F₂ SER semua karakter tergolong KG sedang kecuali pada karakter panjang daun bendera dan jumlah anakan.

Kata kunci: Padi mutan, heritabilitas, kemajuan genetik, *skewness*, *kurtosis*

ABSTRACT

This study aims to identify the diversity emerging from crossing between wild type (local rice: Rojolele) and mutant genotypes Rojolele Srinar and Rojolele Sriten) in their F₂ populations and to calculate heritability value and genetic advance in the F₂ population of R. Srinar with Rojolele (SIR) and R. Sriten with Rojolele (SER). The experiment was conducted from February to July 2022 in the greenhouse and experimental farm at Research Center for Radiation Processing Technology, Jakarta. Two F₂ populations derived from the crossing of the SIR, SER, and three genotypes of parents were used as genetic materials. A total of 221 and 204 plant samples were taken to represent the SIR and SER F₂ populations, respectively, and 16 plants represented the parents. Skewness and kurtosis analyses were used to search for gene action possibility and the number of genes in the F₂ populations (SIR and SER) according to five characteristics i.e. heading date, plant height, panicle length, flag-leaf length, and the number of tillers. In the SIR F₂ population, the heading date might involve epistatic interaction, such as complementary gene action with many genes, while the other characteristics are controlled by a few genes with some variations of gene action. On the other hand, in SER F₂ only the number of tillers is controlled by relatively many genes with additive gene actions. Genotypic and phenotypic diversity in SIR and SER F₂ populations shows a high value and is thus categorized to be broadly diverse. The five agronomic traits of the SIR and SER F₂ population shows a high heritability level. Furthermore, at the genetic advance percentage, all of the traits exhibit a high level of genetic advance, whereas in the SER F₂ population only flag-leaf length and number of tillers have high genetic advance.

Keywords: Mutant rice, heritability, genetic advance, *skewness*, *kurtosis*

PENDAHULUAN

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan tanaman sereal yang penting dan sebagian besar menjadi pangan pokok dunia dan Indonesia. Padi termasuk komoditas pangan utama bersama jagung, kacang-kacangan dan umbi-umbian yang sering dikonsumsi oleh masyarakat. Seiring pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat, maka kebutuhan pasokan bahan pangan juga akan meningkat pula. Akan tetapi, pasokan tanaman padi beberapa tahun terakhir ini tidak meningkat secara signifikan sehingga akan menjadi masalah di kemudian hari jika tidak segera diatasi. Terlebih lagi beberapa karakter agronomi varietas padi umumnya memiliki sifat atau karakter umur berbunga yang panjang sehingga memperlambat masa panen, begitu juga karakter tinggi padi yang rentan rebah sehingga dapat menurunkan hasil produksi padi. Ada kaitan yang erat antara karakter tersebut, seperti disebutkan dalam penelitian Wei dkk [1] yang menjelaskan bahwa apabila proses pembungaan terganggu maka akan mempengaruhi karakter tinggi tanaman dan hasil produksi secara bersamaan. Karakter lainnya yang juga mempengaruhi hasil atau produksi padi diantaranya adalah karakter panjang malai [2], panjang daun bendera [3], dan jumlah anakan [4].

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka proses perbaikan dan perakitan varietas padi menjadi bibit unggul harus terus dilakukan agar hasil produksinya dapat meningkat dengan kualitas terbaik. Perbaikan atau perakitan varietas unggul baru ditujukan untuk karakter-karakter tertentu agar menjadi lebih baik dari induknya. Berbagai cara dapat dilakukan, seperti dengan persilangan [5] atau melalui proses mutasi [6] [7] sehingga menghasilkan keragaman yang luas pada keturunan berikutnya. Menurut Seyoum dkk [8], keragaman genetik diantara banyaknya karakter yang diuji memiliki peran penting dalam pemuliaan tanaman untuk memilih sifat-sifat unggulan ataupun sifat khusus yang diinginkan. Proses seleksi akan lebih efektif jika populasi memiliki keragaman genetik yang luas karena memberikan peluang yang besar untuk menyeleksi dan mendapatkan sifat-sifat unggul atau varietas unggul baru (VUB) [5] [9].

Dalam penelitian ini dilakukan persilangan tanaman padi antara varietas lokal dan padi hasil mutasi radiasi. Varietas padi lokal seperti Rojolele sangat disukai mayoritas masyarakat daerah Jawa Tengah karena memiliki tekstur nasi

yang pulen dan aroma yang khas, namun memiliki kelemahan seperti umur panen yang panjang dan batang tanaman yang tinggi sehingga tanaman mudah rebah. Oleh sebab itu, pada penelitian sebelumnya telah dilakukan proses mutasi dengan meradiasi biji padi lokal Rojolele dan menghasilkan beberapa galur harapan unggul yang disebut dengan padi mutan. Salah satu galur yang berhasil menjadi varietas adalah Rojolele Srinar yang memiliki karakter agronomi lebih unggul dari tetuanya. Selain itu, terdapat galur harapan Rojolele Sriten yang juga memiliki karakter unggulan seperti Rojolele Srinar. Populasi antara tetua dan kedua populasi hasil mutan tersebut diharapkan mampu membawa tingkat keragaman yang luas baik secara genotipe maupun fenotipe. Maka, analisis *skewness* dan *kurtosis* dibutuhkan untuk memberikan informasi tentang sifat dasar aksi gen dan jumlah gen yang mampu mengendalikan suatu karakter tanaman [10]. Analisis ini dapat menentukan ada tidaknya epistatis pada keturunan hasil persilangan. Apabila nilai epistatis yang didapat sangat kecil maka dapat diabaikan, akan tetapi jika terdeteksi nilai yang cukup besar maka akan mempengaruhi fenotipe tanaman.

Nilai ragam atau keragaman yang luas dalam suatu populasi tanaman memberikan peluang besar untuk mendapatkan VUB. Maka, jika keragaman suatu populasi tanaman tinggi maka semakin besar peluang untuk mendapatkan karakter-karakter unggul yang dikehendaki dan juga mempertahankan karakter unggul yang sudah ada sebelumnya. Hal ini akan mempengaruhi tingkat heritabilitas dan kemajuan genetiknya. Menurut Ramadhan dkk [5] dan Kristantini dkk [11], nilai heritabilitas dan kemajuan genetik yang tinggi dapat memudahkan para pemulia tanaman untuk melakukan proses seleksi di lapangan secara efektif dan efisien. Heritabilitas dan kemajuan genetik yang tinggi akan memberikan informasi tentang keragaman yang muncul pada karakter-karakter yang diuji dan mengindikasikan bahwa faktor genetik lebih dominan mempengaruhi karakter tanaman tersebut [9][11].

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang diuraikan, maka tujuan dalam penelitian ini yaitu: 1) mengidentifikasi keragaman yang muncul pada hasil persilangan F₂ antara induk tanaman mutan dengan tanaman mutan; 2) menghitung nilai heritabilitas dan kemajuan genetik populasi F₂ hasil persilangan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari sampai dengan Juli 2022 di rumah kaca dan lahan percobaan Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Jakarta Selatan.

Material tanaman

Bahan penelitian yang digunakan adalah dua populasi F₂ hasil persilangan antara R. Srinar x Rojolele (SIR), R. Sriten x Rojolele (SER) masing-masing sebanyak 221 tanaman SIR dan 204 tanaman SER, dan induk varietas Rojolele, varietas mutan Rojolele Srinar (R. Srinar), dan galur mutan harapan Rojolele Sriten (R. Sriten) masing-masing sebanyak 16 tanaman.

Proses semai dan penanaman

Penyemaian biji ketiga populasi (Rojolele, R. Srinar, dan R. Sriten) dilakukan pada *tray* di *greenhouse* sampai usia 3 minggu dan dilanjutkan dengan penanaman di lahan percobaan. Pertanaman diberi pupuk dengan menggunakan urea sebanyak 150 kg/ha dan NPK (15:15:15) sebanyak 250 kg/ha. Penyiraman dan pemeliharaan tanaman dilakukan secara manual sesuai prosedur budidaya tanaman padi, meliputi penyiraman, penyiangan, pemupukan, dan pengendalian hama serta penyakit.

Pengumpulan dan analisis data

Data dikumpulkan berdasarkan pengamatan karakter agronomi hasil persilangan F₂ antara R. Srinar x Rojolele dan R. Sriten x Rojolele. Parameter yang diamati adalah umur berbunga (UB), tinggi tanaman (TT), panjang malai (PM), panjang daun bendera (PDB), dan jumlah anakan (JA). Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis dengan menggunakan program Microsoft Excel dan *Software R*.

Analisis skewness dan kurtosis

Pendugaan aksi gen dan jumlah gen per karakter dilakukan dengan menggunakan analisis *skewness* dan *kurtosis* pada generasi F₂ [10] [12] [5]. Persamaan Skewness (1) dan Kurtosis (2) mengikuti Roy [13] sebagai berikut:

$$\text{Skewness} = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^3}{(N-1)S^3} \quad (1)$$

$$\text{Kurtosis} = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^4}{(N-1)S^4} \quad (2)$$

dimana Y_i = nilai genotipe ke- i , \bar{Y} = rata-rata, S = standar deviasi, N = jumlah genotipe yang diamati. Nilai skewness dan kurtosis diuji menggunakan galat baku dengan statistik uji [5]:

$$Z_S = \frac{S}{SE_S} \quad (3)$$

$$Z_K = \frac{S}{SE_K} \quad (4)$$

dimana S = *Skewness*, K = *Kurtosis*, SE_S = galat baku *Skewness*, SE_K = galat baku *Kurtosis*, dengan nilai uji kritis dua arah untuk Z_S (3) dan Z_K (4) adalah $Z_{0,05/2} = 1,96$ dan $Z_{0,01/2} = 2,75$.

Skewness mengindikasikan pengaruh epistatis dari suatu karakter, sedangkan *Kurtosis* menunjukkan jumlah gen yang mengendalikan suatu karakter. Kedua analisis tersebut menerangkan bahwa:

- Jika *skewness* = 0 menunjukkan tidak adanya pengaruh epistatis, Jika *skewness* > 0 menunjukkan adanya aksi gen epistatis komplementer, dan Jika *skewness* < 0 mengindikasikan karakter dikendalikan oleh aksi gen epistatis duplikat.
- Jika *kurtosis* > 3 dan bernilai positif maka karakter tersebut dikendalikan oleh sedikit gen, sedangkan jika nilai *kurtosis* < 3 dan bernilai negatif maka karakter tersebut dikendalikan oleh banyak gen.

Pendugaan komponen ragam dan heritabilitas

Untuk menduga komponen ragam masing-masing karakter meliputi ragam fenotipe, lingkungan, genotipe, dan heritabilitas dilakukan dengan menggunakan beberapa persamaan. Berikut ini adalah persamaan untuk ragam fenotipe (5) [11]:

$$\sigma_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N} \quad (5)$$

dimana x_i adalah nilai pengamatan tanaman ke- i , μ adalah nilai tengah populasi, dan N adalah

Tabel 1. Karakter agronomi tetua (R. Srinar, R. Sriten, Rojolele) dan keturunan F₂ hasil persilangan tetua

Genotipe	Umur Berbunga (cm)	Tinggi Tanaman (cm)	Panjang Malai (cm)	Panjang Daun Bendera (cm)	Jumlah Anakan
R. Srinar	64,40 ± 1,00	101,80 ± 2,60	33,00 ± 1,40	38,00 ± 2,30	12,00 ± 2,10
R. Sriten	62,20 ± 0,40	106,80 ± 12,80	29,60 ± 2,40	49,00 ± 6,90	12,40 ± 1,60
Rojolele	93,80 ± 0,70	142,40 ± 1,60	33,40 ± 0,80	45,00 ± 0,60	4,20 ± 0,70
F ₂ SIR	71,00 ± 6,90	123,50 ± 21,20	32,70 ± 3,70	41,90 ± 9,20	8,60 ± 3,40
F ₂ SER	75,40 ± 7,50	132,70 ± 17,80	32,10 ± 3,70	47,80 ± 9,20	8,50 ± 2,50

Ket: F₂ SIR = F₂ Hasil persilangan R. Srinar x Rojolele; F₂ SER = F₂ Hasil persilangan R. Sriten x Rojolele

jumlah tanaman yang diamati. Kemudian ragam lingkungan (6) diduga dari ragam lingkungan induk dengan persamaan:

$$\sigma_E^2 = \frac{n_1\sigma_{p1} + n_2\sigma_{p2}}{n_1 + n_2} \quad (6)$$

dimana σ_{p1} merupakan simpangan baku untuk tetua 1, sementara σ_{p2} adalah simpangan baku untuk tetua 2, dan $n_1 + n_2$ adalah jumlah tanaman tetua.

Setelah didapatkan persamaan ragam fenotipe dan lingkungan, maka selanjutnya dapat dicari ragam genotipenya (7). Hal ini dikarenakan populasi tetua secara genetik adalah seragam sehingga ragam genotipenya sama dengan nol dan ragam fenotipe tetua sama dengan ragam lingkungannya. Dengan demikian, ragam lingkungan populasi tetua sama dengan dengan ragam lingkungan turunannya. Berikut adalah persamaannya [14] [11]:

$$\sigma_g^2 = \sigma_p^2 + \sigma_E^2 \quad (7)$$

Selanjutnya untuk nilai heritabilitas (8) diduga menggunakan persamaan berikut ini [15]:

$$h_{bs}^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2} \quad (8)$$

dimana h_{bs}^2 = heritabilitas arti luas. Tingkat heritabilitas diukur dengan merujuk kepada klasifikasi Stansfield [16], yaitu: $h^2 < 20\%$ (rendah), $20\% \geq h^2 < 50\%$ (sedang), dan $h^2 \geq 50\%$ (tinggi) [5] [11].

Kemajuan seleksi

Sebelum mencari nilai duga kemajuan genetik, maka dihitung terlebih dahulu responnya terhadap seleksi (9) yaitu dengan rumus berikut [11]:

$$R = i \cdot h \cdot \sigma_p \quad (9)$$

dimana R adalah respon terhadap seleksi, i adalah intensitas seleksi (pada penelitian ini menggunakan intensitas seleksi 20% dengan nilai $i = 1,40$), h merupakan heritabilitas dalam arti luas dan σ_p adalah simpangan baku fenotipe.

Kemajuan genetik (10) dalam persen (%), yaitu:

$$KG (\%) = (R \times 100\%) \cdot \bar{x} \quad (10)$$

dimana KG (%) = Kemajuan Genetik dalam persen, \bar{x} = nilai tengah populasi. Adapun kriteria nilai duga kemajuan genetik, yaitu: $KG < 7\%$ (rendah); $7\% \leq KG \leq 14\%$ (sedang); $KG > 14\%$ (tinggi) [11].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakter agronomi tetua padi lokal Rojolele memiliki umur berbunga yang lebih lama (93,80 hari) dibandingkan dengan dua varietas padi mutan dan dua populasi F₂ yang ditunjukkan dalam Tabel 1 dan Gambar 1. Umur berbunga padi rojolele juga disebutkan dalam penelitian Supriyanti dkk [17] yaitu sekitar 93 hari. Hal ini mengindikasikan bahwa padi lokal Rojolele memiliki masa tanam yang lebih lama dibandingkan dengan populasi lainnya sehingga mempengaruhi masa panen. Kemudian, pada karakter agronomi tinggi tanaman dan panjang malai, Rojolele juga menempati urutan teratas dengan tinggi tanaman 142,40 cm dan panjang malai 33,40 cm.

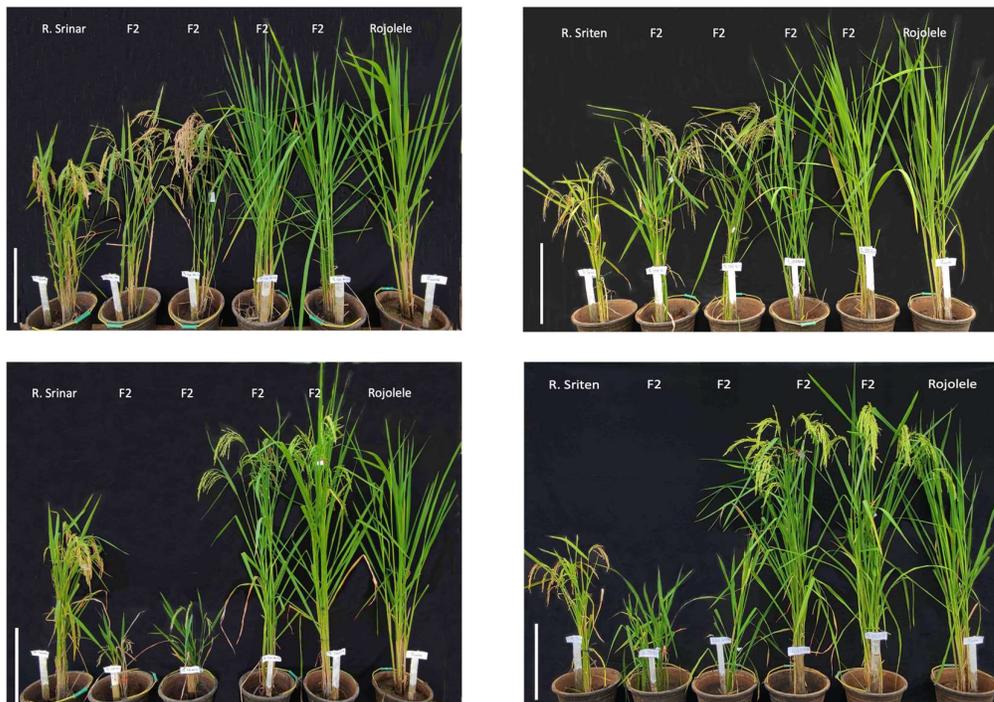
Tinggi tanaman sangat mempengaruhi ketahanan tanaman, karena umumnya tanaman yang tinggi sangat rentan rebah saat masa generatif sampai akhir dimana gabah mulai terisi dan semakin menambah bobot tanaman [18] [19]. Selain itu, dalam penelitian Wei dkk [1] dan Rafii dkk [2] juga menerangkan bahwa hasil produksi dipengaruhi oleh umur berbunga, tinggi tanaman

dan juga panjang malai. Kemudian, pada jumlah anakan, genotipe ini memiliki jumlah yang terendah dibandingkan dengan lainnya, yaitu rata-rata 4,20 anakan per rumpun. Dengan demikian, hasil produksi juga terpengaruh dan dapat menurunkan hasil panen. Hal ini telah dibuktikan dalam penelitian Arinta dan Lubis [18] yang menggunakan enam kultivar padi dimana salah satunya yaitu padi kultivar Timur memiliki jumlah anakan produktif yang rendah dan hasil panennya juga rendah yaitu sekitar 3,88 ton/hektar.

Karakter agronomi padi mutan varietas R. Srinar dan galur R. Sriten memiliki rata-rata umur berbunga terendah atau paling cepat berbunga dibandingkan dengan populasi lainnya, yaitu 64,40 cm (R. Srinar) dan 62,20 cm (R. Sriten). Kedua genotipe ini dihasilkan dari proses iradiasi sinar gamma Co-60 padi lokal rojolele sebelumnya dan telah berhasil menjadi varietas dan galur harapan. Karakter cepat berbunga mengindikasikan bahwa umur panen kedua tanaman ini bisa lebih cepat daripada induknya (Rojolele) dan juga dua populasi F₂ lainnya. Gambar 1 menunjukkan tinggi tanaman padi R. Srinar dan R. Sriten secara berurutan adalah 101,80 cm dan 106,80 cm. Perubahan tinggi tanaman pada kedua mutan tersebut merupakan

hasil atau efek dari radiasi sinar gamma. Hal ini juga pernah dilakukan oleh Sobrizal [6] dalam penelitiannya yang menggunakan radiasi sinar gamma untuk mereduksi tinggi tanaman padi galur KI 237.

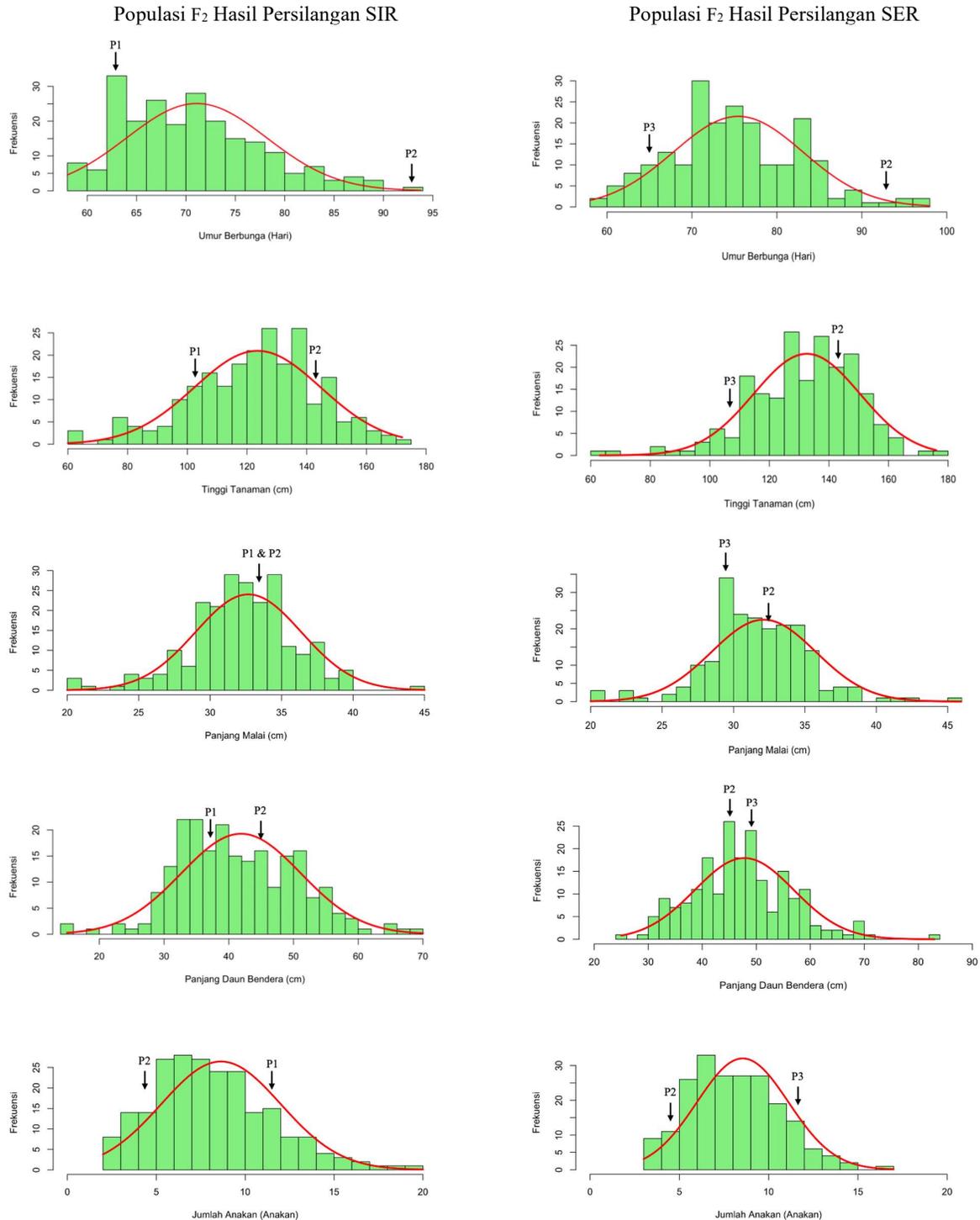
Selain itu, penelitian Warman dkk [7] menyebutkan bahwa dengan teknik mutasi radiasi dapat memperpendek tinggi tanaman agar lebih genjah dan sangat berguna sebagai bahan tanaman awal dalam perbaikan varietas padi. Hal ini sejalan dengan dua populasi padi mutan (R. Srinar dan R. Sriten) yang tergolong genjah dan lebih tahan rebah. Kedua mutan juga memiliki karakter panjang malai yang agak berbeda satu sama lain. R. Sriten memiliki panjang malai terpendek, sementara R. Srinar memiliki panjang yang hampir sama dengan Rojolele. Panjang malai sangat mempengaruhi jumlah bulir gabah yang dihasilkan, dimana semakin panjang malai sejalan dengan banyaknya bulir gabah yang dihasilkan.



Gambar 1. Variasi populasi F₂ dari persilangan SIR dan SER untuk umur dan tinggi tanaman beserta tetua (R. Srinar, R. Sriten dan Rojolele) (bar = 50 cm)

Sementara pada panjang daun bendera, R. Srinar lebih pendek dibandingkan dengan R. Sriten dan ketiga populasi lainnya, yaitu 38 cm. Panjang pendeknya daun bendera tidak

berkolerasi terhadap hasil produksi padi, hal ini disampaikan dalam penelitian Makino [3] yang menjelaskan bahwa panjang daun bendera berkolerasi negatif terhadap biomassa dan hasil



Gambar 2. Histogram dan umur berbunga, tinggi tanaman, panjang malai, panjang daun bendera dan jumlah anakan untuk populasi F₂ SIR dan F₂ SER (P1: R. Srinuk; P2: Rojolele; P3: R. Sriten)

(*yield*), namun karakter ini masih memiliki potensi untuk menjadi penanda sifat-sifat agronomi yang menguntungkan dalam menentukan hasil padi. Karakter selanjutnya adalah jumlah anakan pada kedua mutan yang memiliki jumlah hampir sama, yakni 12 anakan dalam satu rumpun. Anakan yang produktif sangat mempengaruhi hasil produksi padi (panen) [18].

Karakter agronomi populasi F₂ hasil persilangan tetua antara R. Srinar x Rojolele (SIR) dan R. Sriten (SER) menghasilkan karakter umur berbunga antara 71 hari sampai dengan 75,40 hari. Kedua turunan hasil persilangan tersebut (SIR dan SER) menunjukkan karakter tinggi tanaman dan panjang malai yang tidak lebih tinggi dan panjang dari induknya (Rojolele). Kedua turunan tersebut juga ditemukan tidak lebih rendah dan pendek dari induk mutannya (R. Srinar dan R. Sriten) (Gambar 1). Khusus pada karakter panjang daun bendera, hasil persilangan SIR menghasilkan rata-rata 41,90 cm, sedangkan persilangan SER menunjukkan rata-rata 47,80 cm. Untuk jumlah anakan menunjukkan rata-rata yang hampir sama ditemukan pada kedua populasi F₂, yaitu 8 anakan per rumpun. Meskipun dalam penelitian Makino [3] telah menjelaskan korelasi negatif antara panjang pendeknya daun bendera terhadap hasil panen, namun hasil panen diapat dipengaruhi oleh karakter agronomi lainnya seperti umur berbunga tinggi tanaman [19] [1], panjang malai, dan jumlah anakan yang produktif [18]. Distribusi

histogram karakter umur berbunga, tinggi tanaman, panjang malai, panjang daun bendera dan jumlah anakan pada dua populasi F₂ hasil persilangan SIR dan SER disajikan dalam Gambar 2.

Menurut Samak dkk [10] informasi tentang sifat dasar aksi dan jumlah gen yang mengendalikan suatu karakter dapat terlihat dari analisis *skewness* dan *kurtosis*. Dalam penelitian ini, nilai *skewness* dan *kurtosis* F₂ hasil persilangan SIR dan SER dapat dilihat pada Tabel 2. Umur berbunga populasi F₂ persilangan SIR menunjukkan perbedaan sangat nyata pada taraf 1% dimana karakter ini dikendalikan oleh banyak gen dengan aksi gen epistatis komplementer. Pada tinggi tanaman dan panjang malai didapatkan hasil uji *skewness* negatif yang mengindikasikan adanya aksi gen epistatis duplikat dengan jumlah sedikit gen, sedangkan pada karakter panjang daun bendera tidak berbeda nyata atau tidak memperlihatkan *skewness* (kemenjuluran) sehingga diduga karakter ini dikendalikan oleh aksi gen aditif. Menurut Roy [13] pengaruh aksi gen epistatis dan dominan akan terus berkurang pada generasi ke generasi, akan tetapi proporsi gen aditifnya justru bertambah. Selanjutnya pada jumlah anakan menunjukkan *skewness* positif dan berbeda nyata yang diduga dikendalikan oleh sedikit gen dengan aksi gen komplementer. Menurut Roy [13] dan Jayaramachandran dkk [12], nilai *skewness* positif ataupun negatif secara berturut-turut telah mengindikasikan bahwa telah terjadi epistatis

Tabel 2. Pendugaan aksi gen dan jumlah gen pada persilangan R. Srinar x Rojolele dan R. Sriten x Rojolele

Karakter agronomi	<i>Skewness</i>	SE _S	Z _S	<i>Kurtosis</i>	SE _K	Z _K	Aksi gen	Jumlah gen
R. Srinar x Rojolele (SIR)								
Umur berbunga	0,60	0,16	3,69**	2,80	0,33	8,59**	EK	Banyak gen
Tinggi tanaman	-0,44	0,16	-2,68*	3,10	0,33	9,51**	ED	Sedikit gen
Panjang malai	-0,43	0,16	-2,62*	4,25	0,33	13,06**	ED	Sedikit gen
Panjang daun bendera	0,25	0,16	1,54 ^{tn}	3,10	0,33	9,51**	Ad	Sedikit gen
Jumlah anakan	0,67	0,16	4,11**	3,35	0,33	10,29**	EK	Sedikit gen
R. Sriten x Rojolele (SER)								
Umur berbunga	0,29	0,17	1,70 ^{tn}	3,01	0,34	8,89**	Ad	Sedikit gen
Tinggi tanaman	-0,70	0,17	-4,12**	4,20	0,34	12,40**	ED	Sedikit gen
Panjang malai	-0,06	0,17	-0,35 ^{tn}	4,99	0,34	14,73**	Ad	Sedikit gen
Panjang daun bendera	0,45	0,17	2,67*	3,58	0,34	10,55**	EK	Sedikit gen
Jumlah anakan	0,33	0,17	1,92 ^{tn}	2,98	0,34	8,80**	Ad	Banyak gen

Keterangan: ** = berbeda nyata pada taraf 1%; * = berbeda nyata pada taraf 5%; ^{tn} = tidak berbeda nyata pada taraf 5%; SE_S = standard error *skewness*; Z_S = statistik uji *skewness*; SE_K = standard error *kurtosis*; Z_K: statistik uji *kurtosis*. Ad = aditif, EK = Epistatis komplementer, ED = Epistatis Duplikat.

komplementer dan epistatis duplikat pada populasi.

Kemudian pada persilangan SER, karakter umur berbunga, panjang malai dan jumlah anakan dikendalikan oleh aksi gen aditif dengan sedikit gen, kecuali pada jumlah anaknya yang dipengaruhi oleh banyak gen. Menurut Lestari dkk [20] apabila sebaran genotipe tidak normal dan memiliki *skewness*, maka diduga karakter tersebut dipengaruhi oleh adanya aksi gen non aditif. Pada tinggi tanaman menunjukkan *skewness* negatif yang berbeda sangat nyata dari lainnya dengan taraf 1% dan diduga adanya aksi gen epistatis duplikat. *Skewness* positif juga ditunjukkan pada karakter panjang daun bendera yang berbeda nyata taraf 5% yang dipengaruhi oleh sedikit gen dan diduga dikendalikan oleh gen epistatis komplementer (Tabel 2).

Tabel 3. Nilai ragam genotipe populasi F₂ hasil persilangan R. Srinar x Rojolele dan R. Sriten x Rojolele

Karakter agronomi	σ_g^2	σ_g	$2\sigma_g$	Kriteria
R. Srinar x Rojolele (SIR)				
Umur berbunga	47,26	6,87	13,75	Luas
Tinggi tanaman	443,59	21,06	42,12	Luas
Panjang malai	12,44	3,53	7,05	Luas
Panjang daun bendera	82,75	9,10	18,19	Luas
Jumlah anakan	8,75	2,96	5,91	Luas
R. Sriten x Rojolele (SER)				
Umur berbunga	55,56	7,45	14,91	Luas
Tinggi tanaman	232,16	15,24	30,47	Luas
Panjang malai	10,12	3,18	6,36	Luas
Panjang daun bendera	60,44	7,77	15,55	Luas
Jumlah anakan	4,84	2,20	4,40	Luas

Keterangan: σ_g^2 = ragam genotipe, σ_g = simpangan baku; $2\sigma_g$ = dua kali lipat simpangan baku. Kriteria keragaman : $\sigma_p^2 > 2\sigma_g$ (luas), $\sigma_p^2 < 2\sigma_g$ (sempit) [21]

Analisis *skewness* dan *kurtosis* dapat memberikan informasi tentang sifat dasar aksi gen dan jumlah gen yang mampu mengendalikan suatu karakter [10]. Analisis ini dapat menentukan ada tidaknya epistatis pada keturunan hasil persilangan. Apabila nilai epistatis yang didapat sangat kecil maka dapat diabaikan, akan tetapi jika terdeteksi nilai yang cukup besar maka akan mempengaruhi fenotipe tanaman. Hal ini mengindikasikan adanya peran

aksi gen beserta jumlahnya dari hasil persilangan. Pengaruh aksi gen epistatis dan dominan sebenarnya bisa berkurang pada setiap generasi, namun tidak pada proporsi gen aditifnya yang cenderung bertambah [13]. Hasil *Skewness* positif atau negatif menjelaskan terjadinya epistatis duplikat dan epistatis komplementer. Sedangkan, *kurtosis* positif ataupun negatif masing-masing dapat menggambarkan banyaknya gen aditif atau sedikitnya gen yang terlibat dalam pengendalian suatu karakter individu tanaman [12] [13].

Tabel 4. Nilai ragam fenotipe populasi F₂ hasil persilangan R. Srinar x Rojolele dan R. Sriten x Rojolele

Karakter agronomi	σ_p^2	σ_p	$2\sigma_p$	Kriteria
R. Srinar x Rojolele (SIR)				
Umur berbunga	48,06	6,93	13,86	Luas
Tinggi tanaman	448,39	21,18	42,35	Luas
Panjang malai	13,76	3,71	7,42	Luas
Panjang daun bendera	85,55	9,25	18,50	Luas
Jumlah anakan	11,23	3,35	6,70	Luas
R. Sriten x Rojolele (SER)				
Umur berbunga	55,92	7,48	14,96	Luas
Tinggi tanaman	315,76	17,77	35,54	Luas
Panjang malai	13,36	3,66	7,31	Luas
Panjang daun bendera	84,44	9,19	18,38	Luas
Jumlah anakan	6,44	2,54	5,08	Luas

Keterangan: σ_p^2 = ragam fenotipe, σ_p = simpangan baku; $2\sigma_p$ = Dua kali lipat simpangan baku.

Kriteria keragaman : $\sigma_p^2 > 2\sigma_p$ (luas), $\sigma_p^2 < 2\sigma_p$ (sempit) [21]

Persilangan SIR dan SER menghasilkan populasi F₂ dengan keragaman genotipe yang luas pada karakter agronomi tanaman, seperti umur berbunga, tinggi tanaman, panjang malai, panjang daun bendera dan jumlah anakan (Tabel 3). Kelima karakter ini ditandai dengan ragam fenotipe yang lebih luas dibandingkan dengan dua kali simpangan baku ($\sigma_p^2 > 2\sigma_p$). Hal yang sama juga ditunjukkan pada ragam fenotipe populasi F₂ hasil persilangan SIR dan SER untuk kelima karakter tersebut (Tabel 4). Hasil persilangan SIR memiliki nilai ragam genotipe dan fenotipe berturut-turut sebesar 443,59 dan 448,39. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan nilai dua kali simpangan baku dan mengindikasikan keragaman yang luas. Begitu juga dengan keempat karakter lainnya yang mempunyai nilai ragam genotipe

dan fenotipe yang lebih tinggi daripada simpangan baku dan dua kalinya simpangan baku sehingga menunjukkan kriteria keragaman yang luas. Menariknya pada populasi F₂ persilangan SER juga menunjukkan kelima karakter agronomi yang memiliki nilai ragam genotipe dan fenotipe yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan dua kalinya simpangan baku. Hal ini menandakan bahwa kelima karakter populasi F₂ persilangan SER juga memiliki keragaman yang luas. Sebenarnya keragaman yang luas pada ragam fenotipe dan genotipe disebabkan oleh benih yang berasal dari populasi turunan (F₂) yang memiliki tingkat segregasi yang tinggi. Dalam penelitian Barmawi dkk [9] juga ditemukan beberapa karakter padi yang memiliki nilai ragam genotipe dan fenotipe yang luas hasil persilangan antara *Yellow Bean* dan *Taichung*. Oleh sebab itu, keragaman genetik diantara banyaknya karakter yang diuji mempunyai peran penting dalam pemuliaan tanaman untuk memilih sifat-sifat unggulan ataupun sifat khusus yang diinginkan [8]. Proses seleksi akan lebih efektif jika populasi memiliki keragaman genetik yang luas karena memberikan peluang yang besar untuk menyeleksi dan mendapatkan sifat-sifat unggul atau varietas unggul baru (VUB) [5] [9]. Maka, jika keragaman suatu populasi tanaman tinggi maka semakin besar peluang untuk mendapatkan karakter-karakter unggul yang dikehendaki dan juga mempertahankan karakter unggul yang sudah ada sebelumnya. Semua

karakter populasi F₂ hasil persilangan SIR dan SER menunjukkan nilai heritabilitas dalam arti luas dengan kriteria tinggi karena mencapai nilai lebih dari 50% (0,50) (Tabel 5).

Kondisi ini menunjukkan karakter-karakter tersebut dikendalikan lebih banyak faktor genetik. Kristamtini dkk [11] menjelaskan bahwa tingginya nilai heritabilitas disebabkan oleh tingkat segregasi paling maksimum pada populasi F₂. Artinya, nilai heritabilitas yang tinggi memberikan informasi tentang keragaman yang muncul pada karakter-karakter yang diuji dan mengindikasikan bahwa faktor genetik lebih dominan mempengaruhi karakter tanaman tersebut [22] [9] [11]. Selanjutnya, dapat dilakukan proses seleksi secara efisien untuk memilih karakter tertentu yang diinginkan. Menurut Jameela dkk [23] mudah tidaknya pewarisan sifat atau karakter dapat diketahui dari nilai heritabilitas dan dapat diduga dengan membandingkan besar ragam genotipe terhadap ragam fenotipe.

Selanjutnya pada kemajuan genetik populasi F₂ hasil persilangan SIR dan SER menunjukkan nilai persentasi antara 12,07 sampai 42,28 dimana kriteria yang diperoleh dari sedang sampai tinggi. Pada hasil persilangan SIR, semua karakter menunjukkan kriteria tinggi, kecuali pada umur berbunga yang berkriteria sedang. Sementara, pada populasi F₂ hasil persilangan SER, terdapat tiga karakter (umur berbunga, tinggi tanaman dan panjang malai) yang

Tabel 5. Heritabilitas dan kemajuan genetik populasi F₂ hasil persilangan R. Srinar x Rojolele dan R. Sriten x Rojolele

Karakter agronomi	h ² _{bs}		R	KG (%)	Kriteria
	Nilai	Kriteria			
R. Srinar x Rojolele (SIR)					
Umur berbunga	98,34	Tinggi	9,54	13,44	Sedang
Tinggi tanaman	98,93	Tinggi	29,33	23,74	Tinggi
Panjang malai	90,41	Tinggi	4,69	14,37	Tinggi
Panjang daun bendera	96,73	Tinggi	12,52	29,89	Tinggi
Jumlah anakan	77,91	Tinggi	3,65	42,28	Tinggi
R. Sriten x Rojolele (SER)					
Umur berbunga	99,36	Tinggi	10,40	13,79	Sedang
Tinggi tanaman	73,52	Tinggi	18,29	13,79	Sedang
Panjang malai	75,75	Tinggi	3,88	12,07	Sedang
Panjang daun bendera	71,58	Tinggi	9,21	19,27	Tinggi
Jumlah anakan	75,17	Tinggi	2,67	31,25	Tinggi

Keterangan: h²_{bs} = heritabilitas arti luas, h² < 20% (rendah), 20% ≥ h² < 50% (sedang), dan h² ≥ 50% (tinggi); R = Nilai duga kemajuan genetik; KG = Kemajuan genetik, KG < 7% (rendah), 7% ≤ KG ≤ 14% (sedang), KG > 14% (tinggi);

berkriteria sedang karena nilai kemajuan genetiknya berkisar antara 12 sampai 13%. Sedangkan, pada dua karakter lainnya yaitu panjang daun bendera dan jumlah anakan menunjukkan nilai yang tinggi atau lebih dari 14% yaitu syarat batas untuk kriteria tinggi dalam kemajuan genetik.

Tingginya nilai kemajuan genetik dalam suatu karakter menggambarkan bahwa karakter tersebut didukung dan dikendalikan oleh faktor genetik sehingga dapat memfasilitasi kemajuan seleksi. Kristantini dkk [11] dan Martono [24] menjelaskan bahwa nilai heritabilitas yang tinggi pada karakter akan diikuti dengan keragaman genetik yang luas dan menunjukkan penampilan karakter tersebut yang ditentukan oleh faktor genetik. Oleh sebab itu, seleksi pada populasi dengan heritabilitas yang tinggi akan lebih efektif dan efisien karena dapat memberikan harapan kemajuan genetik yang lebih besar. Sebenarnya kaitan antara keragaman genetik (genotipe) dan heritabilitas bermanfaat dalam menduga kemajuan genetik dari sebuah seleksi [9]. Dalam penelitian ini telah menunjukkan nilai ragam genotipe dan fenotipe yang memiliki kriteria luas (lebih tinggi dari dua kali nilai simpangan baku) dan juga nilai heritabilitas dari rentang sedang ke tinggi sehingga berpotensi dilakukan seleksi secara efektif dan efisien untuk mendapatkan VUB.

KESIMPULAN

Semua karakter agronomi populasi F₂ hasil persilangan SIR dan SER yang diuji dalam penelitian ini menunjukkan nilai ragam genotipe dan fenotipe yang luas. Rentang nilai ragam genotipe karakter hasil persilangan SIR adalah berkisar antara 5,91 sampai dengan 42,12, sedangkan SER yaitu antara 4,40 sampai dengan 20,47. Lebih lanjut, rentang nilai ragam fenotipe ditemukan yaitu antara 6,70 sampai dengan 42,35 untuk turunan hasil persilangan SIR dan antara 5,08 sampai dengan 35,54 untuk hasil persilangan SER. Nilai heritabilitas menunjukkan rentang antara 71,58 sampai 99,36 sehingga dikategorikan memiliki heritabilitas yang tinggi. Pada kemajuan genetik populasi F₂ hasil persilangan SIR memiliki kriteria yang tinggi yaitu diatas 14%, kecuali pada umur berbunga sekitar 13%, sementara pada persilangan SER kriteria tinggi ditemukan pada karakter panjang

daun bendera dan jumlah anakan, kriteria sedang pada karakter umur berbunga, tinggi tanaman, dan panjang malai. Penelitian ini menjadi informasi penting untuk penelitian lanjutan untuk dilakukan seleksi lebih lanjut untuk mendapatkan sifat-sifat unggul yang diinginkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan pendanaan dari DIPA Organisasi Riset Tenaga Nuklir, BRIN tahun 2022. Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf teknis PRTPR-BRIN yang telah membantu jalannya penelitian ini sehingga berjalan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. Wei, J. Xu, H. Guo, L. Jiang, S. Chen, C. Yu, Z. Zhou, P. Hu, H. Zhai, and J. Wan, "DTH8 Suppresses Flowering in Rice, Influencing Plant Height and Yield Potential Simultaneously," *Plant Physiology*, vol. 153, no. 4, pp. 1747–1758, 2010, doi: 10.1104/pp.110.156943.
- [2] M. Y. Rafii, M. Z. Zakiah, R. Asfaliza, I. Haifaa, M. A. Latif, and M. A. Malek, "Grain Quality Performance and Heritability Estimation in Selected F1 Rice Genotypes," *Sains Malaysiana*, vol. 43, no. 1, pp. 1–7, 2014..
- [3] Y. Makino, Y. Hirooka, K. Homma, R. Kondo, T. S. Liu, L. Tang, T. Nakazaki, Z. J. Xu, and T. Shiraiwa, "Effect of Flag Leaf Length of Erect Panicle Rice on The Canopy Structure and Biomass Production After Heading," *Plant Production Science*, vol. 25, no. 1, pp. 1–10, 2022, doi: 10.1080/1343943X.2021.1908152.
- [4] H. Tao, H. Brueck, K. Dittert, C. Kreye, S. Lin, and B. Sattelmacher, "Growth and Yield Formation of Rice (*Oryza sativa* L.) in The Water-Saving Ground Cover Rice Production System (GCRPS)," *Field Crop Research*, vol. 95, no. 1, pp. 1–12, 2006, doi: 10.1016/j.fcr.2005.01.019.
- [5] F. Ramadhan, W. Bayuardi Suwarno, A. Nindita, and D. H. Aswidinnoor, "Analisis Genetik Arsitektur Malai Padi Menggunakan Dua Populasi F₂," *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal*

- of *Agronomy*, vol. 46, no. 1, p. 1, 2018, doi: 10.24831/jai.v46i1.17265.
- [6] Sobrizal, "Mutasi Induksi untuk Mereduksi Tinggi Tanaman Padi Galur KI 237," *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, vol. 4, no. 2, pp. 99–108, 1907.
- [7] B. Warman, S. Sobrizal, I. Suliansyah, E. Swasti, and A. Syarif, "Perbaikan Genetik Kultivar Padi Beras Hitam Lokal Sumatera Barat Melalui Mutasi Induksi," *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, vol. 11, no. 2, p. 125, 2016, doi: 10.17146/jair.2015.11.2.2791.
- [8] M. Seyoum, S. Alamerew, and K. Bantte, "Genetic Variability, Heritability, Correlation Coefficient and Path Analysis for Yield and Yield Related Traits in Upland Rice (*Oryza sativa* L.)," *Journal of Plant Sciences*, vol. 7, pp. 13–22, Jan. 2012, doi: 10.3923/jps.2012.13.22.
- [9] M. Barmawi, A. Yushardi, and N. Sa'diyah, "Daya Waris dan Harapan Kemajuan Seleksi Karakter Agronomi Kedelai Generasi F₂ Hasil Persilangan Antara Yellow Bean dan Taichung," *Jurnal Agrotek Tropika*, vol. 1, no. 1, pp. 20–24, 2013, doi: 10.23960/jat.v1i1.1882.
- [10] N. R. A. Samak, S. Hittalmani, N. Shashidhar, and H. Biradar, "Exploratory Studies on Genetic Variability and Genetic Control for Protein and Micronutrient Content in F₄ and F₅ Generation of Rice (*Oryza sativa* L.)," *Asian Journal of Plant Sciences*, vol. 10, no. 7, pp. 376–379, 2011, doi: 10.3923/ajps.2011.376.379.
- [11] K. Kristamtini, S. Sutarno, E. W. Wiranti, and S. Widyayanti, "Kemajuan Genetik dan Heritabilitas Karakter Agronomi Padi Beras Hitam pada Populasi F₂," *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, vol. 35, no. 2, p. 119, 2016, doi: 10.21082/jpptp.v35n2.2016.p119-124.
- [12] M. Jayaramachandran, N. Kumaravadel, S. Eapen, and G. Kandasamy, "Gene Action for Yield Attributing Characters in Segregating Generation (M₂) of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.)," *Electronic Journal of Plant Breeding*, vol. 1, no. July, pp. 802–805, 2010.
- [13] D. Roy, "Plant Breeding: Analysis and Exploitation of Variation," Narosa Publishing House, New Delhi, 2000.
- [14] M. Y. Maryono, T., D. Wirnas, and D. S. Human, "Analisis Genetik dan Seleksi Segregan Transgresif pada Populasi F₂ Sorgum Hasil Persilangan B69 × Numbu dan B69 × Kawali," *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, vol. 47, no. 2, pp. 163–170, 2019, doi: 10.24831/jai.v47i2.24991.
- [15] E. Jambormias, J. R. Patty, J. K. J. Laisina, A. Tutupary, E. L. Madubun, dan R. E. Ririhena, "Analisis Genetik Dan Segregasi Transgresif Sifat Berganda Pada Generasi F₂ Persilangan Kacang Hijau Mamasa Lere Butnem × Lasafu Lere Butsiw," *Jurnal Budidaya Pertanian*, vol. 10, no. 2, pp. 52–58, 2014.
- [16] W. D. Stansfield, *Theory and Problems of Genetics*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill Book Co, 1986.
- [17] A. Supriyanti, Supriyanta, and Kristamtini, "Karakterisasi Dua Puluh Padi (*Oryza sativa* L.) Lokal di Daerah Istimewa Yogyakarta," *Vegetalika*, vol. 4, no. 3, pp. 29–41, 2015, doi: 10.35681/1560-9189.2015.17.3.100328.
- [18] K. Arinta and I. Lubis, "Pertumbuhan dan Produksi Beberapa Kultivar Padi Lokal Kalimantan," *Buletin Agrohorti*, vol. 6, no. 2, pp. 270–280, 2018.
- [19] Y. Zhang, C. Yu, J. Lin, J. Liu, B. Liu, J. Wang, A. Huang, H. Li, T. Zhao, "OsMPH1 Regulates Plant Height and Improves Grain Yield in Rice," *PLoS One*, vol. 12, no. 7, pp. 1–17, 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0180825.
- [20] A. P. Lestari, Suwarno, Trikoesoemaningtyas, D. I. D. Y. Sopandie, and H. Aswidinnoor, "Panicle Length and Weight Performance of F₃ Population from Local and Introduction Hybridization of Rice Varieties," *HAYATI Journal of Biosciences*, vol. 22, no. 2, pp. 87–92, 2015, doi: 10.4308/hjb.22.2.87.
- [21] R. L. Anderson and T. A. Bancroft, *Statistical Theory in Research*. New York: McGraw-Hill Book Co, 1952.
- [22] K. Setiawan, R. Restiningtias, S. D. Utomo, Ardian, M. S. Hadi, Sunyoto, dan E. Yuliadi, "Keragaman Genetik, Fenotipe dan Heritabilitas Beberapa Genotipe Sorghum pada Kondisi Tumpangsari dan Monokultur," *Jurnal Agro*, vol. 6, no. 2, pp. 95–109, 2019, doi: 10.15575/4568.

- [23] H. Jameela, A. Noor, and A. Soegianto, “Keragaman Genetik dan Heritabilitas Karakter Komponen Hasil Pada Populasi F₂ Buncis (*Phaseolus vulgaris* L.) Hasil Persilangan Varietas Introduksi dengan Varietas Lokal,” *Jurnal Produksi Tanaman*, vol. 2, pp. 324–329, 2012.
- [24] B. Martono, “Keragaman Genetik dan Heritabilitas Karakter Ubi Bengkuang (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban),” *Biofarm: Jurnal Ilmiah Pertanian*, vol. 13, no. 8, pp. 1–8, 2010.