

## Parameter Genetik Dan Analisis Hubungan Antar Sifat Pada Populasi F<sub>2</sub> Padi Keturunan Persilangan Inpari 31 X Basmati Delta 9

### *Genetic Parameters and Interrelationship Analysis among Traits in F<sub>2</sub> Populations of Inpari 31 X Basmati Delta 9 Rice Crosses*

Agus Riyanto<sup>1</sup>, Dyah Susanti<sup>1</sup>, Totok Agung Dwi Haryanto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman

\*E-mail : totok.haryanto@unsoed.ac.id

#### ABSTRACT

*One of the objectives of the Indonesian rice improvement program is to assembling high-yielding varieties with long and slender rice grains. The purpose of this study was to estimate the genetic parameters and interrelationship among yield components and yield of Inpari 31 x Basmati Delta 9 in F<sub>2</sub> generation. The experiment was conducted at an experimental farm of Agriculture Faculty, Jenderal Sudirman University, Purwokerto, Central Java, Indonesia. The genetic material used was seed from an F<sub>2</sub> population crossed between Inpari 31 x Basmati Delta 9, Inpari 31 and Basmati Delta 9. Skewness, kurtosis, genetic variability, heritability, genetic advance, correlations among traits, and path analysis estimates were calculated for yield component and yield traits. Results show that additive and complementary epistatic action control yield component and yield traits. Yield components and yield are controlled by a monogenic or polygenic genes, depending on the observed trait. Wide genetic variability, high broad sense heritability and high genetic advance were found in the number of productive tillers per plant and grain weight per panicle. These traits show a significant positive correlation and have a direct effect on the yield; therefore, they can be used as traits in the selection to produce high-yielding rice, with long rice sizes and slender shapes.*

**Keywords:** *F<sub>2</sub> population; genetic parameters; interrelationship among traits; rice*

**Disubmit :** 15 Februari 2022; **Diterima:** 23 Juni 2022; **Disetujui :** 4 Januari 2023

#### PENDAHULUAN

Beras merupakan bahan pangan penting yang memiliki nilai strategis dari segi ekonomi, lingkungan, sosial dan politik (Hermanto, 2017). Beras dikonsumsi sebagai bahan makanan pokok oleh 95% penduduk Indonesia (Sembiring, et al, 2010) dan mencukupi 62,1% kebutuhan akan energi (Nafisah *et al.*, 2020). Kondisi ini menuntut beras tersedia dalam keadaan cukup.

Upaya menyediakan beras yang cukup dilakukan dengan cara pengembangan padi yang ditujukan untuk peningkatan daya hasil dan kualitas beras. Tahun 2020 produksi beras nasional sebesar 31,33 juta ton (BPS, 2021) dan konsumsi beras penduduk mencapai 22,28 juta ton (Kementan, 2020). Artinya, tahun 2020 Indonesia mengalami surplus beras. Pada tahun yang sama Indonesia melakukan impor beras sebanyak 356.286 ton (Anwar, 2021). Impor terutama dilakukan untuk beras khusus.

Beras khusus adalah beras berkualitas tinggi yang sulit diproduksi di dalam negeri. Kualitas beras telah menjadi perhatian bagi masyarakat yang terlibat dalam produksi, pengolahan dan konsumsi karena mempengaruhi nilai gizi dan nilai ekonomi beras (Custodio *et al.*, 2019). Peningkatan kualitas beras telah



**Lisensi**

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi-BerbagiSerupa 4.0 Internasional.

menjadi perhatian utama dalam program pemuliaan padi untuk memenuhi preferensi konsumen dan permintaan pasar (Nirmaladevi *et al.*, 2015). Ukuran dan bentuk sangat menentukan penerimaan pasar terhadap beras (Cuevas *et al.*, 2016). Beras berukuran panjang dan berbentuk ramping seperti Basmati disukai oleh pasar internasional, termasuk di Indonesia.

Perakitan varietas padi yang memiliki beras berukuran panjang dan berbentuk ramping dapat dilakukan melalui persilangan antara tetua Inpari 31 dan tetua Basmati Delta 9. Guna memperoleh genotipe unggul maka diperlukan seleksi terhadap populasi hasil persilangan tersebut. Pengetahuan tentang parameter genetik dan hubungan antar sifat diperlukan dalam penentuan strategi seleksi yang efektif guna sifat ukuran beras dan bentuk beras.

Seleksi yang efektif ditentukan oleh parameter genetik yang meliputi aksi gen, jumlah gen pengendali sifat, koefisien keragaman genetik, heritabilitas, dan kemajuan genetik (Barmawi, 2007; Singh, Singh and Lal, 2011). Aksi gen serta jumlah gen pengendali suatu sifat dapat diketahui dengan analisis Skewness dan Kurtosis di generasi  $F_2$  (Fisher, *et al.*, 1932; Roy, 2000; Samak, *et al.*, 2011). Skewness dapat dipakai untuk menentukan aksi gen suatu sifat dan kurtosis dimanfaatkan untuk menduga jumlah gen pengendali suatu sifat (Robson, 1956). Analisis Skewness dan Kurtosis untuk menduga aksi gen dan jumlah gen pengendali sifat pada padi telah dilaporkan (Sheshaiah, *et al.*, 2018; Vijaya and Shailaja, 2018; Herawati, *et al.*, 2019) dengan hasil beragam tergantung populasi yang digunakan.

Koefisien keragaman genetik merupakan nilai yang menggambarkan keragaman genetik suatu sifat pada populasi. Koefisien keragaman dan ragam memberikan gambaran yang lebih baik tentang keragaman genetik (Sudeepthi *et al.*, 2020) dan dapat dibagi menjadi koefisien keragaman genotipik dan koefisien keragaman fenotipik (Singh, *et al.*, 2011). Heritabilitas dan kemajuan genetik suatu sifat merupakan perhatian utama pemulia tanaman guna menyusun program perbaikan tanaman (Tiwari, *et al.*, 2019). Heritabilitas menggambarkan efektivitas seleksi genotipe yang didasarkan pada kinerja fenotipik (Shah *et al.*, 2018). Kemajuan genetik memberikan informasi tentang perolehan kemajuan genetik yang diharapkan yang dihasilkan dari seleksi individu unggul (Anbanandan and Eswaran, 2018). Pendugaan koefisien keragaman genetik, heritabilitas, dan kemajuan genetik sifat komponen hasil dan hasil tanaman padi telah dilaporkan oleh banyak peneliti dengan hasil beragam tergantung populasi yang digunakan (Chozin, Sumardi, *et al.*, 2017; Ali, *et al.*, 2018; Anbanandan and Eswaran, 2018; Choudhary, *et al.*, 2018; Choudhary, Haider, Prasad, *dkk.*, 2018; Hema *et al.*, 2019; Sudeepthi *et al.*, 2020).

Komponen hasil dan hasil adalah sifat yang kompleks dan dipengaruhi oleh banyak faktor. Seleksi sifat komponen hasil dan hasil akan efektif jika hubungan antar sifat komponen hasil dan hasil diketahui (Haryanto *et al.*, 2014). Derajat hubungan antar sifat memiliki peran penting dalam pengembangan strategi seleksi guna memperoleh genotipe unggul (Olivoto *et al.*, 2017). Analisis korelasi dan analisis jalur adalah alat statistik yang baik untuk mempelajari hubungan antar sifat pada tanaman. (Haryanto and Yoshida, 1996). Analisis korelasi digunakan untuk mengukur derajat dan arah hubungan antar sifat (Balla and Ibrahim, 2017). Koefisien korelasi dapat dipecah menjadi pengaruh langsung dan pengaruh tidak langsung menggunakan analisis jalur (Archana *et al.*, 2018). Analisis korelasi dan analisis jalur telah digunakan untuk menentukan hubungan antara komponen hasil dan hasil pada berbagai tanaman (Ratna *et al.*, 2015; Hajiaqatabar, Kiani and Kazemitabar, 2016; Chozin, *et al.*, 2017; Prakash *et al.*, 2018).

Tujuan penelitian ini adalah untuk menduga parameter genetik dan hubungan antara sifat komponen hasil dan hasil ada populasi  $F_2$  padi keturunan persilangan Inpari 31 x Basmati Delta 9. Informasi yang diperoleh pada penelitian ini digunakan untuk pengembangan strategi pemuliaan tanaman padi Indonesia.

## METODE PENELITIAN

**Tempat Penelitian.** Percobaan dilaksanakan di rumah kaca Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman. Lokasi penelitian berada pada koordinat 7°24'28.7"S 109°15'13.3"E dengan ketinggian 110 meter di atas permukaan laut.

**Bahan Penelitian.** Bahan penelitian ini yaitu benih populasi F<sub>2</sub> keturunan persilangan Inpari 31 x Basmati Delta 9 serta tetua Inpari 31 dan Basmati Delta 9. Inpari 31 merupakan varietas unggul padi dari Indonesia. Basmati Delta 9 adalah varietas padi yang berasal dari India.

**Rancangan percobaan.** Penelitian dilakukan menggunakan rancangan percobaan tanpa ulangan (Petersen, 1994). Tetua (P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub>), dan F<sub>2</sub> ditanam dalam polibag untuk setiap kombinasi persilangan. Tanaman tetua (P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub>) masing-masing ditanam sejumlah sepuluh tanaman. Jumlah tanaman populasi F<sub>2</sub> yang ditanam adalah 150 tanaman.

**Prosedur Penelitian.** Benih tetua dan keturunan F<sub>2</sub> ditumbuhkan pada baki perkecambahan selama 2 minggu. Bibit berumur 2 minggu dipindah ke polibag. Ukuran polibag yang digunakan yaitu 35 cm x 40 cm dan diisi dengan 9 kg tanah. Setiap polibag berisi 1 bibit padi. Pupuk dasar diberikan pada 10 hari sebelum pindah tanam dengan dosis 1,21g pupuk TSP-46 dan 0,90g pupuk KCL per polibag. Pupuk NPK (15%N, 10%P, 12% K) diberikan dengan dosis 8,72 g per polibag pada tanaman berumur 2 minggu setelah semai dan tanaman berumur 4 minggu setelah semai. Hama dan penyakit dikendalikan sesuai kebutuhan tanaman.

**Variabel Pengamatan.** Variabel pengamatan pada penelitian ini adalah tinggi tanaman (cm), umur berbunga (hss), kandungan klorofil (mg/g), kerapatan stomata, indeks luas daun, jumlah anakan produktif per tanaman, umur panen (hss), panjang malai (cm), jumlah gabah total per malai (butir), bobot gabah per malai (g), bobot 100 biji (g) dan bobot gabah per tanaman (g).

## Analisis Data

### 1. Pendugaan aksi gen dan jumlah gen pengendali

Aksi gen dan jumlah gen pengendali diduga menggunakan analisis Skewness dan Kurtosis pada setiap sifat yang diamati pada populasi F<sub>2</sub>. Rumus yang digunakan sebagai berikut (Roy, 2000).

$$\text{Skewness} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y)^3}{(N-1)S^2} \dots (1)$$

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

Keterangan:

Y<sub>i</sub> = nilai genotipe

S = simpangan baku

N = jumlah data

Nilai Skewness dan nilai Kurtosis diuji dengan uji kesalahan Skewness dan Kurtosis yang dihitung dengan cara:

$$Z_S = \frac{S}{SE_S} \text{ dan } Z_K = \frac{K}{SE_K} \dots (3)$$

Keterangan:

S = Skewness

K = Kurtosis

SE<sub>S</sub> = simpangan baku Skewness, dan

SE<sub>K</sub> = adalah simpangan baku Kurtosis.

Nilai kritis untuk  $Z_S$  adalah  $Z_{0.05/2} = 0,96$  dan nilai  $Z_K$  yang digunakan adalah  $Z_{0.01/2} = 2,57$ .

Skewness mencerminkan ekspresi sifat yang dipengaruhi aksi gen epistasis (Lestari *et al.*, 2015). Jika Skewness sama dengan nol, berarti tidak ada pengaruh epistasis terhadap sifat tanaman. Skewness  $> 0$  berarti ada pengaruh aksi gen epistasis komplementer terhadap sifat tanaman, dan Skewness  $< 0$  berarti ada pengaruh aksi gen epistasis duplikat terhadap sifat tanaman. Kurtosis menggambarkan bentuk kurva distribusi dan mencerminkan jumlah gen pengendali suatu sifat (Herawati *dkk.* 2019). Jika kurtosis  $> 3$  dan nilainya positif, maka menunjukkan grafik leptokurtik yang menunjukkan bahwa beberapa gen mengendalikan sifat tersebut. Jika Kurtosis  $< 3$  dan nilainya negatif, maka menunjukkan grafik platikurtik dan sifatnya dikendalikan secara poligenik atau banyak gen.

## 2. Pendugaan Keragaman Genetik, Heritabilitas dan Kemajuan Genetik

### 1) Penghitungan rata-rata dan ragam

Rata-rata dan ragam dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Steel and Torrie, 1960).

$$\text{Rata - rata } (\bar{X}) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots (4)$$

$$\text{Ragam } (\sigma^2) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \dots (5)$$

Keterangan:

$X_i$  = pengukuran individu ke-i

$n$  = jumlah sampel

### 2) Pendugaan ragam lingkungan, ragam fenotipik dan ragam genotipik

Ragam lingkungan ( $\sigma_e^2$ ), ragam fenotipik ( $\sigma_p^2$ ) dan ragam genotipik ( $\sigma_g^2$ ) diduga menggunakan rumus sebagai berikut (Singh and Chaudhary, 1979).

$$\text{Ragam lingkungan } (\sigma_e^2) = \sqrt{\sigma_{P1}^2 \cdot \sigma_{P2}^2} \dots (6)$$

$$\text{Ragam fenotipik } (\sigma_p^2) = \sigma_{F2}^2 \dots (7)$$

$$\text{Ragam genotipik } (\sigma_g^2) = \sigma_p^2 - \sigma_e^2 \dots (8)$$

Keterangan:

$\sigma_{P1}^2$  dan  $\sigma_{P2}^2$  = ragam tetua dari populasi  $F_2$

$\sigma_{F2}^2$  = ragam populasi  $F_2$

### 3) Pendugaan koefisien keragaman fenotipik dan koefisien keragaman genotipik

Koefisien keragaman fenotipik (KKF) dan koefisien keragaman genotipik (KKG) dihitung dengan cara sebagai berikut (Singh and Chaudhary, 1979).

$$\text{Koefisien Keragaman Fenotipik (KKF)} = \frac{\sqrt{\sigma_p^2}}{\bar{X}} \dots (9)$$

$$\text{Koefisien Keragaman Genotipik (KKG)} = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{X}} \dots (10)$$

Keterangan:

$\sigma_p^2$  = ragam fenotipik

$\sigma_g^2$  = ragam genotipik

$\bar{X}$  = rata-rata

Koefisien keragaman fenotipik dan koefisien keragaman genotipik dikategorikan menjadi tiga yaitu 1. tinggi jika nilai koefisien lebih dari 20% dikategorikan menjadi tinggi, 2. sedang jika nilai koefisien di antara 10% dan 20%, dan 3. rendah jika nilai koefisien lebih kecil dari 10% (Sivasubramanian and Menon, 1973).

4) Pendugaan heritabilitas arti luas ( $h^2_{bs}$ ) dan kemajuan genetik (KG)

Heritabilitas arti luas ( $h^2_{bs}$ ) diduga dengan cara sebagai berikut (Mahmud and Kramer, 1951).

$$\text{Heritabilitas arti luas } (h^2_{bs}) = \frac{\sigma^2_{F2} - \sqrt{\sigma^2_{P1} \cdot \sigma^2_{P2}}}{\sigma^2_{F2}} \times 100\% \quad \dots (11)$$

Heritabilitas arti luas dikategorikan menjadi tinggi (nilai lebih besar dari 50%), sedang (antara 50% dan 20%) dan rendah (nilai kurang dari 20%) (Stansfield, 1991).

Kemajuan genetik harapan pada setiap kombinasi persilangan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Johnson dkk. 1955).

$$\text{Kemajuan Genetik (KG)} = \frac{i \cdot h^2_{bs} \cdot \sigma_p}{\bar{x}} \times 100 \quad \dots (12)$$

Keterangan:

$i$  = intensitas seleksi ( $i$ ) pada intensitas 10% dengan nilai  $i = 1,76$  (Fehr, 1991)

$h^2_{bs}$  = heritabilitas arti luas

$\sigma_p$  = simpangan baku fenotipe

$\bar{x}$  = nilai rata-rata populasi

Kemajuan genetik dikategorikan menurut Begum and Sobhan (1991) menjadi tinggi (>14%), sedang (14% - 7%) dan rendah (< 7%).

3. Korelasi fenotipik antara komponen hasil dan hasil.

Korelasi fenotipik diduga mengikuti rumus sebagai berikut.

$$\text{Korelasi fenotipik } (r_{p.xy}) = \frac{\text{Kov. p}(x,y)}{\sqrt{\sigma^2_p(x) \cdot \sigma^2_p(y)}} \quad \dots (13)$$

Koefisien korelasi fenotipik diuji dengan uji t dengan rumus sebagai berikut.

$$t_{hit} = r_{p.xy} \sqrt{\frac{n-2}{1-(r_{p.xy})^2}} \quad \dots (14)$$

Koefisien korelasi dianggap nyata jika nilai  $t_{hitung}$  lebih besar dari  $t_{tabel}$  pada  $\alpha$  5% pada derajat bebas ( $n - k - 1$ ),  $k$  adalah banyaknya peubah bebas.

4. Analisis jalur fenotipik antara komponen hasil dan hasil

Analisis jalur digunakan untuk mengetahui pengaruh langsung dan tidak langsung komponen hasil terhadap hasil. Bobot gabah per tanaman digunakan sebagai sifat hasil pada penelitian ini. Koefisien analisis jalur fenotipik diduga menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$r(x_1Y) = P_{x_1y} + r(x_1, x_2)P_{x_2y} + \dots + r(x_i, x_n)P_{x_iy}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad \dots (15)$$

$\frac{\sigma_{x_1}}{\sigma_Y} = P_{1y}$ , koefisien analisis jalur dari  $x_1$  ke Y

$\frac{\sigma_{x_2}}{\sigma_Y} = P_{2y}$ , koefisien analisis jalur dari  $x_2$  to Y

$\frac{\sigma_{x_n}}{\sigma_Y} = P_{ny}$ , koefisien analisis jalur dari  $x_n$  to Y

Persamaan di atas disusun dalam bentuk matriks sebagai berikut.

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} r_{x_1y} \\ r_{x_2y} \\ r_{x_3y} \end{bmatrix} \\ A \end{matrix} = \begin{matrix} \begin{bmatrix} r_{x_1x_1} & r_{x_1x_2} & r_{x_1x_3} \\ r_{x_2x_1} & r_{x_2x_2} & r_{x_2x_3} \\ r_{x_3x_1} & r_{x_3x_2} & r_{x_3x_3} \end{bmatrix} \\ B \end{matrix} \begin{matrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \\ C \end{matrix}$$

Koefisien analisis jalur dihitung dengan persamaan  $C=B^{-1}A$  ..... (16)

Keterangan:

A = korelasi antara peubah bebas (X) dan peubah tak bebas (Y).

B = matriks korelasi antar peubah bebas

$B^{-1}$  = inversi matriks B

C = koefisien analisis jalur yang menunjukkan pengaruh langsung dari setiap peubah bebas (x) terhadap peubah tak bebas (Y);

Pengaruh tidak langsung peubah bebas (X) terhadap peubah tak bebas (Y) dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$r(x_1x_2Y) = P_{1y} \cdot r(x_1x_2) \dots\dots (17)$$

$$r(x_1x_nY) = P_{1y} \cdot r(x_1x_n) \dots\dots (18)$$

Pengaruh faktor sisa dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$R = \sqrt{1 - \sum (P_{xiy} \cdot r(x_iy))} \dots\dots (19)$$

Koefisien pengaruh langsung peubah bebas (X) terhadap peubah tak bebas (Y) diuji t dengan rumus sebagai berikut (Supardi, 2013):

$$t_{hit} = \frac{P_{xiy}}{\sqrt{\frac{(1 - \sum (P_{xiy} \cdot r(x_iy))) C_{ii}}{(n-k-1)}}} \dots\dots (20)$$

Koefisien analisis jalur dianggap nyata jika nilai  $t_{hitung} > t_{tabel}$  pada  $\alpha$  5% pada derajat bebas  $(n - k - 1)$ , k adalah banyaknya peubah bebas (X).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Analisis Skewness dan Kurtosis.** Skewness dapat digunakan untuk menduga aksi gen suatu sifat dalam populasi (Fisher, et al., 1932). Hasil penelitian ini menunjukkan Skewness tidak berbeda nyata pada sifat tinggi tanaman, kandungan klorofil, umur berbunga, panjang malai, jumlah gabah total per malai, bobot 1000 biji, dan bobot gabah per malai (Tabel 1). Skewness tidak berbeda nyata mencerminkan sifat dikendalikan oleh aksi gen aditif (Herawati, et al., 2019), artinya sifat-sifat tersebut di atas dikendalikan oleh aksi gen aditif. Aksi gen aditif pada sifat tinggi tanaman, kandungan klorofil, umur berbunga, panjang malai, jumlah gabah total per malai, bobot 1000 biji, dan bobot gabah per malai mencerminkan bahwa sifat-sifat tersebut stabil dan seleksi untuk sifat-sifat tersebut mungkin akan efektif pada generasi awal (Chaudhari *et al.*, 2018).

Skewness nyata dan positif ditunjukkan oleh sifat jumlah anakan produktif per tanaman, kerapatan stomata, indeks luas daun, umur panen, dan bobot gabah per tanaman (Tabel 1). Skewness positif berkaitan dengan aksi gen epistasis komplementer (Samak *et al.*, 2011; Raghavendra and Hittalmani, 2016; Sujata *et al.*, 2017), artinya pada penelitian ini aksi gen epistasis komplementer mengendalikan sifat jumlah anakan produktif per tanaman, kerapatan stomata, indeks luas daun, umur panen dan bobot gabah per tanaman. Seleksi sifat yang dikendalikan aksi gen komplementer berjalan lambat pada tekanan seleksi rendah dan menjadi cepat jika seleksi dilakukan secara intensif (Jayaramachandran *et al.*, 2010). Seleksi yang intensif dari keragaman genetik yang ada untuk sifat yang dikendalikan oleh aksi gen epistasis komplementer diperlukan untuk memperoleh kemajuan genetik yang tinggi (Roy, 2000; Chaudhari *dkk.*, 2018).

Tabel 1. Skewness, Kurtosis, aksi gen dan jumlah gen pengendali sifat komponen hasil dan hasil populasi F<sub>2</sub> padi keturunan persilangan Inpari 31 dan Basmati Delta 9

Sifat	Skewness	Kurtosis	Aksi Gen	Jumlah gen
Tinggi tanaman	-0,42	0,66	Aditif	Banyak
Jumlah anakan produktif per tanaman	1,23 *	2,02 *	Epistasis komplementer	Sedikit
Kandungan klorofil	-1,25	2,46 *	Aditif	Sedikit
Kerapatan stomata	1,98 *	4,11 *	Epistasis komplementer	Sedikit
Indeks luas daun	7,48 *	75,00 *	Epistasis komplementer	Sedikit
Umur berbunga	0,16	3,79 *	Aditif	Sedikit
Umur panen	0,92 *	0,40	Epistasis komplementer	Banyak
Panjang malai	-0,16	0,36	Aditif	Banyak
Jumlah gabah total per malai	-0,10	0,04	Aditif	Banyak
Bobot 1000 biji	-0,64	3,50 *	Aditif	Sedikit
Bobot gabah per malai	0,05	0,35	Aditif	Banyak
Bobot gabah per tanaman	1,19 *	1,55 *	Epistasis komplementer	Sedikit

Keterangan: angka yang diikuti dengan tanda \* berarti berbeda nyata pada taraf kesalahan  $\alpha$  0,5%.

Skewness dapat digunakan untuk menduga aksi gen suatu sifat dalam populasi (Fisher, Immer and Tedin, 1932). Hasil penelitian ini menunjukkan Skewness tidak nyata diperoleh pada sifat tinggi tanaman, kandungan klorofil, umur berbunga, panjang malai, jumlah gabah total per malai, bobot 1000 biji, dan bobot gabah per malai (Tabel 1). Skewness tidak nyata mencerminkan sifat dikendalikan oleh aksi gen aditif (Herawati, Masdar and Alnopri, 2019). Hal ini berarti sifat-sifat tersebut dikendalikan oleh aksi gen aditif. Adanya aksi gen aditif pada sifat tinggi tanaman, kandungan klorofil, umur berbunga, panjang malai, jumlah gabah total per malai, bobot 1000 biji, dan bobot gabah per malai menunjukkan bahwa sifat-sifat tersebut stabil dan seleksi untuk sifat-sifat tersebut mungkin akan efektif pada generasi awal (Chaudhari *et al.*, 2018).

Skewness nyata dan positif ditunjukkan oleh sifat jumlah anakan produktif per tanaman, kerapatan stomata, indeks luas daun, umur panen dan bobot gabah per tanaman (Tabel 1). Skewness positif berkaitan dengan aksi gen epistasis komplementer (Samak *et al.*, 2011; Raghavendra and Hittalmani, 2016; Sujata *dkk.*, 2017), artinya pada penelitian ini sifat jumlah anakan produktif per tanaman, kerapatan stomata, indeks luas daun, umur panen dan bobot gabah per tanaman dikendalikan oleh aksi gen epistasis komplementer. Seleksi sifat yang dikendalikan aksi gen komplementer berjalan lambat pada tekanan seleksi rendah dan menjadi cepat jika seleksi dilakukan secara intensif (Jayaramachandran *dkk.*, 2010). Kemajuan genetik yang tinggi dari sifat yang dikendalikan oleh aksi gen epistasis komplementer memerlukan seleksi yang intensif dari variabilitas genetik yang ada (Roy, 2000; Chaudhari *dkk.*, 2018).

Analisis Kurtosis dapat dimanfaatkan untuk mengetahui jumlah gen pengendali suatu sifat (Robson, 1956). Penelitian ini menunjukkan Kurtosis tidak berbeda nyata pada sifat tinggi tanaman, umur panen, panjang malai, dan jumlah gabah total per malai (Tabel 1.). Kurtosis tidak berbeda nyata atau bernilai menunjukkan distribusi normal atau mesokurtik (Sumathi, Ganesan and Senthil, 2018). Sifat yang menunjukkan distribusi normal atau mesokurtik menunjukkan bahwa sifat tersebut dikendalikan oleh banyak gen (Nurhidayah, et al., 2017; Mustafa *dkk.*, 2019). Artinya pada penelitian ini sifat tinggi tanaman, umur panen, panjang malai, dan jumlah gabah total per malai dikendalikan oleh banyak gen. Faktor jumlah gen yang mengendalikan suatu sifat berpengaruh terhadap tingkat kesulitan seleksi dalam program pemuliaan (Herawati, Masdar and Alnopri, 2019). Jumlah gen yang mengendalikan suatu sifat berpengaruh terhadap jumlah kelas distribusi. Semakin banyak gen yang mengendalikan suatu sifat, semakin banyak kelas yang terbentuk pada distribusi dan semakin besar variabilitas antar galur sehingga seleksi semakin sulit. Seleksi sifat yang dikendalikan oleh sejumlah kecil gen akan lebih mudah dari sifat yang dikendalikan oleh banyak gen (Lestari *dkk.*, 2015).

Kurtosis positif menunjukkan kurva leptokurtik dan Kurtosis negatif menunjukkan kurva platikurtik (Jayaramachandran *et al.*, 2010). Sifat jumlah anakan produktif per tanaman, kandungan klorofil, kerapatan stomata, indeks luas daun, umur berbunga, bobot 1000 biji, dan bobot gabah per tanaman menunjukkan nilai Kurtosis nyata dan positif (Tabel 1). Artinya, sifat-sifat tersebut menunjukkan distribusi leptokurtik pada generasi  $F_2$ . Distribusi leptokurtik mencerminkan suatu sifat yang dikendalikan oleh sedikit gen (Samak *et al.*, 2011). Hasil penelitian ini menunjukkan sifat jumlah anakan produktif per tanaman, kandungan klorofil, kerapatan stomata, indeks luas daun, umur berbunga, bobot 1000 biji, dan bobot gabah per tanaman dikendalikan oleh sedikit gen.

**Keragaman Genetik, Heritabilitas Arti Luas dan Kemajuan Genetik.** Tabel 2 menyajikan nilai koefisien keragaman fenotipik (KKF) dan koefisien keragaman genetik (KKG). Pada Tabel 2 nilai KKF lebih besar dari nilai KKG pada sifat-sifat yang diamati mengindikasikan faktor lingkungan memiliki peran penting pada ekspresi sifat-sifat tersebut (Choudhary, *et al.*, 2018; Sudeepthi *et al.*, 2020). Fenomena ini telah dilaporkan dalam penelitian padi yang telah dilakukan, menyiratkan bahwa keragaman yang tampak tidak semata-mata dikaitkan dengan konstitusi genetik dari sifat-sifat tersebut, tetapi juga karena pengaruh lingkungan. Semakin kecil selisih nilai KKG dan KKF menunjukkan bahwa pengaruh faktor genetik terhadap ekspresi suatu sifat lebih besar dibandingkan pengaruh lingkungan (Kishore *dkk.*, 2015; Chozin, Sumardi, *dkk.*, 2017). Seleksi berdasarkan fenotipe untuk sifat yang memiliki nilai KKG dan KKF hampir sama akan efektif untuk perbaikan sifat tersebut (Rani *et al.*, 2016).

Koefisien keragaman fenotipik dan koefisien keragaman genotipik dapat dikelompokkan menjadi tinggi ( $>20\%$ ), sedang ( $20\% - 10\%$ ) dan rendah ( $<10\%$ ) (Sivasubramanian and Menon, 1973). Hasil penelitian menunjukkan jumlah anakan produktif per tanaman, kerapatan stomata, indeks luas daun, bobot gabah per malai, dan bobot gabah per tanaman menunjukkan KKF dan KKG dalam kategori tinggi. KKF dan KKG kategori sedang ditunjukkan oleh sifat umur berbunga. Sifat kandungan klorofil dan bobot 1000 biji menunjukkan kategori KKF sedang akan tetapi memiliki kategori KKG rendah. Sifat tinggi tanaman, umur panen, dan panjang malai menunjukkan kategori KKF dan KKG yang rendah.

Keragaman sifat-sifat pada generasi  $F_2$  yang luas dapat memberikan cakupan dan keleluasaan yang besar untuk melakukan seleksi berdasarkan penampilan fenotipik (Chozin *et al.* 2017). Keragaman yang luas dalam populasi memberikan keleluasaan dalam seleksi guna merakit suatu varietas dengan sifat-sifat yang sesuai tujuan (Bornare *et al.* 2014). Koefisien keragaman memberikan gambaran yang lebih baik tentang keragaman genetik suatu populasi (Choudhary, *et al.*, 2018) dan dapat dibagi menjadi KKF dan KKG. Nilai KKF dan KKG yang tinggi menunjukkan bahwa seleksi suatu sifat efektif dan kenampakan fenotipenya dapat menjadi indikator yang baik dari potensi suatu genotipe (Singh *et al.*, 2011). Penelitian ini KKF dan KKG tinggi ditunjukkan oleh sifat jumlah anakan produktif per tanaman, kerapatan stomata, indeks luas daun, bobot gabah per malai, dan bobot gabah per tanaman sehingga sifat tersebut dapat dijadikan indikator seleksi yang efektif untuk menghasilkan genotipe unggul dari populasi  $F_2$  padi hasil persilangan Inpari 31 x Basmati Delta 9.

Heritabilitas adalah rasio ragam genotipik terhadap ragam fenotipik. Heritabilitas adalah salah satu parameter genetik yang selalu disertakan dalam menentukan suatu metode seleksi yang sesuai (Wahyu *dkk.*, 2018). Pendugaan heritabilitas dalam arti luas mengacu pada kontribusi komponen genetik terhadap variasi sifat yang dapat diamati (Chozin, Sumardi, *et al.*, 2017). Pendugaan heritabilitas arti luas dilakukan pada penelitian ini (Tabel 2). Hasil pendugaan heritabilitas arti luas dikategorikan menjadi tinggi jika nilai lebih dari 50%), sedang jika nilai antara 50% dan 20%, serta rendah jika nilai kurang dari  $< 20\%$  (Stansfield, 1991). Mendasarkan hal tersebut maka sifat yang memiliki nilai heritabilitas tinggi adalah tinggi tanaman, jumlah anakan produktif per tanaman, indeks luas daun, umur berbunga, bobot 1000 biji, bobot gabah per malai, dan bobot gabah per tanaman. Sifat-sifat dengan nilai heritabilitas tinggi sedikit dipengaruhi oleh



faktor lingkungan dan sifat-sifat tersebut dapat diperbaiki dengan menggunakan metode seleksi sederhana (Raghavendra and Hittalmani, 2016). Selain itu, seleksi terhadap sifat heritabilitas tinggi dapat dilakukan pada generasi awal karena faktor genetik dominan mempengaruhi fenotipe tanaman (Lestari dkk., 2015). Oleh karena itu seleksi terhadap sifat tinggi tanaman, jumlah anakan produktif per tanaman, indeks luas daun, umur berbunga, bobot 1000 biji, bobot gabah per malai, dan bobot gabah per tanaman dapat dilakukan di awal generasi menggunakan metode seleksi sederhana.

Tabel 2. Koefisien keragaman fenotipik (KKF), koefisien keragaman genotipik (KKG), heritabilitas arti luas dan kemajuan genetik sifat komponen hasil dan hasil pada populasi F<sub>2</sub> padi keturunan persilangan Inpari 31 x Basmati Delta 9.

Sifat	Koefisien Keragaman Fenotipik (%)	Koefisien Keragaman Genotipik (%)	Heritabilitas Arti Luas (%)	Kemajuan Genetik
Tinggi tanaman	7,98	6,45	65,41	9,18
Jumlah anakan produktif per tanaman	46,22	38,92	70,91	57,67
Kandungan klorofil	11,82	6,65	31,65	6,58
Kerapatan stomata	35,81	24,00	44,91	28,30
Indeks luas daun	75,57	70,78	87,72	116,68
Umur berbunga	13,91	11,57	69,27	16,95
Umur panen	7,95	3,27	16,90	2,36
Panjang malai	7,61	5,29	48,38	6,48
Jumlah gabah total per malai	20,71	9,61	21,53	7,85
Bobot 1000 biji	12,29	8,80	51,27	11,09
Bobot gabah per malai	25,63	21,20	68,43	30,86
Bobot gabah per tanaman	58,56	53,53	83,56	86,12

Sifat lain yaitu kandungan klorofil, kerapatan stomata, panjang malai, jumlah gabah total per malai menunjukkan nilai heritabilitas arti luas sedang. Sifat umur panen memiliki heritabilitas arti luas rendah. Heritabilitas arti luas dengan nilai sedang dan rendah menunjukkan pengaruh lingkungan yang lebih besar dibandingkan pengaruh genotipiknya. Seleksi terhadap sifat dengan nilai heritabilitas sedang dan rendah pada generasi awal kurang memberikan hasil yang baik (Saleem, Iqbal and Asghar, 2013). Oleh karena itu seleksi terhadap sifat kandungan klorofil, kerapatan stomata, panjang malai, jumlah gabah total per malai, dan umur panen sebaiknya dilakukan pada generasi lanjut.

Heritabilitas suatu sifat sangat penting dalam menentukan respon terhadap seleksi. Sifat tanaman dengan heritabilitas tinggi dapat dipilih pada generasi awal untuk mempercepat proses pengembangan kultivar. Namun demikian, nilai heritabilitas yang tinggi tidak selalu menunjukkan nilai kemajuan genetik tinggi (Shah *et al.*, 2018). Karena itu nilai heritabilitas yang dipadukan dengan nilai kemajuan genetik akan lebih dapat diandalkan daripada nilai heritabilitas saja (Sundaram *et al.*, 2019). Kemajuan genetik memberikan informasi tentang perolehan genetik yang diharapkan yang dihasilkan dari seleksi individu unggul (Anbanandan and Eswaran, 2018).

Kemajuan genetik dikategorikan tinggi jika nilainya lebih besar dari 14%, dikategorikan sedang jika nilainya di antara 14% dan 7% dan dikategorikan rendah jika nilainya kurang dari 7% (Begum and Sobhan, 1991). Hasil penelitian ini menunjukkan sifat jumlah anakan produktif per tanaman, kerapatan stomata, indeks luas daun, bobot gabah per malai, dan bobot gabah per tanaman memiliki nilai kemajuan genetik tinggi (Tabel 2). Sifat tinggi tanaman, jumlah gabah total per malai, dan bobot 1000 biji menunjukkan kemajuan genetik sedang. Sifat lainnya yaitu kandungan klorofil, umur panen, dan panjang malai menunjukkan nilai kemajuan genetik rendah.

Heritabilitas yang tinggi yang dipadukan dengan kemajuan genetik yang tinggi dapat menjadi petunjuk dalam menentukan metode seleksi sederhana yang efektif untuk suatu sifat dalam suatu populasi bersegregasi dan menghasilkan keturunan yang tepat (Chozin, Sumardi, *et al.*, 2017; Govintharaj, *et al.*, 2018). Jumlah anakan produktif per tanaman, indeks luas daun, bobot gabah per malai, dan bobot gabah per tanaman menunjukkan heritabilitas dan kemajuan genetik tinggi sehingga seleksi sifat-sifat tersebut pada populasi bersegregasi akan efektif untuk menghasilkan generasi lanjut yang superior. Hasil penelitian yang sama diperoleh pada penelitian Riyanto *et al.* (2021).

**Hubungan Antar Sifat Komponen Hasil dan Hasil.** Daya hasil adalah sifat yang kompleks yang menunjukkan hubungan yang searah atau tidak searah dengan komponen hasil pada tingkat pengaruh yang beragam (Saleem, Iqbal and Asghar, 2013). Hubungan antar sifat adalah panduan dalam memilih sifat yang paling penting yang digunakan untuk karakter seleksi daya hasil tinggi. Oleh karena itu hubungan antara komponen hasil dan hasil perlu dipelajari. Korelasi dan analisis jalur adalah teknik umum yang digunakan untuk menjelaskan hubungan antar sifat pada banyak tanaman (Haryanto and Yoshida, 1996).

Tabel 3 menyajikan koefisien korelasi antara hasil dan komponen hasil populasi F<sub>2</sub> padi keturunan persilangan Inpari 31 dan Basmati Delta 9. Sifat bobot gabah per tanaman dijadikan variabel hasil pada penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan sifat tinggi tanaman, jumlah anakan produktif per tanaman, kandungan klorofil, panjang malai, jumlah gabah total per malai, bobot 100 biji, dan bobot gabah per malai berkorelasi nyata dan positif terhadap bobot gabah per tanaman. Sifat lainnya yaitu kerapatan stomata, indeks luas daun, umur berbunga dan umur panen tidak berkorelasi dengan bobot gabah per tanaman.

Korelasi nyata dan positif menunjukkan hubungan dua sifat yang searah (Ratner, 2009). Hubungan searah antara sifat-sifat menjamin peningkatan simultan dari kedua sifat tersebut sambil membatasi seleksi ke salah satu dari sifat-sifat yang terkait (Rajamadhan *et al.* 2011; Muthuramu & Ragavan 2020). Seleksi sifat yang memiliki korelasi positif atau hubungan searah dapat dilakukan secara simultan karena menjamin peningkatan dari kedua sifat tersebut (Archana *et al.* 2018). Artinya seleksi sifat jumlah anakan produktif per tanaman, kandungan klorofil, panjang malai, jumlah gabah total per malai, bobot 100 biji, dan bobot gabah per malai dapat memperbaiki bobot gabah per tanaman sehingga dapat dilakukan secara simultan. Namun demikian seleksi terhadap tinggi tanaman perlu dibatasi, karena seleksi terhadap tanaman pendek akan menurunkan bobot gabah per tanaman.

Tabel 3. Koefisien korelasi komponen hasil dan hasil populasi F<sub>2</sub> keturunan persilangan Inpari 31 x Basmati Delta 9

	TT	JAP	KK	KS	ILD	UB	UP	PM	JGM	BSB	BGM	BGT
TT	1											
JAP	0,21 *	1										
KK	0,19 *	0,21 *	1									
KS	0,05	0,08	0,04	1								
ILD	0,20 *	0,32 *	0,17 *	0,04	1							
UB	0,18 *	-0,14	0,00	-0,12	0,04	1						
UP	0,06	0,08	0,17 *	-0,01	0,19 *	0,30 *	1					
PM	0,52 *	0,13	0,24 *	0,03	0,02	0,07	0,02	1				
JGM	0,37 *	0,10	0,12	0,01	0,03	-0,07	-0,21 *	0,34 *	1			
BSB	0,04	0,05	0,05	-0,04	0,01	-0,02	-0,09	0,14	-0,02	1		
BGM	0,19 *	0,16	0,20 *	0,04	-0,04	-0,07	-0,01	0,30 *	0,59 *	0,29 *	1	
BGT	0,20 *	0,82 *	0,21 *	0,08	0,16	-0,16	0,01	0,18 *	0,34 *	0,16 *	0,61 *	1

Keterangan: angka yang diikuti dengan tanda \* berarti berbeda nyata pada taraf kesalahan  $\alpha$  5%. TT = tinggi tanaman (cm), JAP = jumlah anakan produktif per tanaman, KK = kandungan klorofil (mg/g), KS = kerapatan stomata, ILD = indeks luas daun, UB = umur berbunga (HST), UP = umur panen (HST); PM = panjang malai (cm), JGM = jumlah gabah total per malai (Butir), BSB = bobot 100 biji (g), BGM = bobot gabah per malai (g) dan BGT = bobot gabah per tanaman (g).

Tabel 4. Koefisien jalur komponen hasil dan hasil populasi F<sub>2</sub> keturunan persilangan Inpari 31 x Basmati Delta 9

	Pengaruh langsung	TT	JAP	KK	KS	ILD	UB	UP	PM	JGM	BSB	BGM	Pengaruh Total
TT	-0,010	0,000	0,163	-0,004	0,000	-0,009	0,002	-0,003	-0,026	-0,019	-0,001	0,106	0,198
JAP	0,769 *	-0,002	0,000	-0,004	0,000	-0,015	-0,001	-0,004	-0,007	-0,005	-0,002	0,087	0,816
KK	-0,021	-0,002	0,161	0,000	0,000	-0,008	0,000	-0,009	-0,012	-0,006	-0,002	0,107	0,209
KS	0,001	0,000	0,062	-0,001	0,000	-0,002	-0,001	0,000	-0,002	-0,001	0,001	0,020	0,078
ILD	-0,045	-0,002	0,246	-0,004	0,000	0,000	0,000	-0,010	-0,001	-0,002	0,000	-0,023	0,159
UB	0,010	-0,002	-0,111	0,000	0,000	-0,002	0,000	-0,015	-0,003	0,004	0,001	-0,037	-0,157
UP	-0,051	-0,001	0,058	-0,003	0,000	-0,008	0,003	0,000	-0,001	0,011	0,003	-0,005	0,005
PM	-0,050	-0,005	0,101	-0,005	0,000	-0,001	0,001	-0,001	0,000	-0,018	-0,004	0,165	0,182
JGM	-0,052	-0,004	0,080	-0,002	0,000	-0,001	-0,001	0,011	-0,017	0,000	0,001	0,321	0,335
BSB	-0,032	0,000	0,040	-0,001	0,000	-0,001	0,000	0,005	-0,007	0,001	0,000	0,159	0,163
BGM	0,547 *	-0,002	0,123	-0,004	0,000	0,002	-0,001	0,000	-0,015	-0,031	-0,009	0,000	0,610

Keterangan: angka yang diikuti dengan tanda \* berarti berbeda nyata pada taraf kesalahan  $\alpha$  5%. TT = tinggi tanaman (cm), JAP = jumlah anakan produktif per tanaman, KK = kandungan klorofil (mg/g), KS = kerapatan stomata, ILD = indeks luas daun, UB = umur berbunga (HST), UP = umur panen (HST); PM = panjang malai (cm), JGM = jumlah gabah total per malai (Butir), BSB = bobot 100 biji (g), BGM = bobot gabah per malai (g) dan BGT = bobot gabah per tanaman (g).

Analisis korelasi digunakan untuk mengukur derajat dan arah hubungan antar sifat (El-Mohsen, Mahmoud and Safina, 2013; Balla and Ibrahim, 2017; Chozin, Sudjarmiko, dkk., 2017). Koefisien korelasi terbatas hanya menggambarkan hubungan antara dua sifat dan tidak untuk menjelaskan hubungan sebab akibat antar sifat (Kozak, et al., 2012; Hajiaqatabar, et al., 2016). Guna menggambarkan hubungan sebab akibat dalam hubungan antar sifat diperlukan metode lain yaitu analisis jalur.

Analisis jalur adalah metode dasar yang memungkinkan penarikan kesimpulan tentang struktur kausal data (Kozak and Kang, 2006) dan dapat memberikan wawasan yang lebih baik tentang hubungan sebab-akibat antara pasangan sifat yang berbeda (Patil and Sahu, 2009). Analisis koefisien jalur adalah teknik statistik untuk membagi koefisien korelasi suatu sifat menjadi pengaruh langsung dan pengaruh tidak langsung terhadap hasil, sehingga kontribusi masing-masing sifat terhadap hasil dapat diperkirakan (Cyprien and Kumar, 2011; Rajamadhan, et al., 2011; Haryanto dkk., 2014; Faot, Zubaidah and Kuswantoro, 2019).

Penelitian ini menunjukkan jumlah anakan produktif per tanaman dan bobot gabah per malai adalah sifat yang memiliki koefisien analisis jalur nyata dan positif (Tabel 4). Artinya kedua sifat tersebut memiliki pengaruh langsung terhadap hasil. Sifat lainnya, yaitu jumlah anakan produktif per tanaman, kandungan klorofil, kerapatan stomata, indeks luas daun, umur berbunga, umur panen, panjang malai, jumlah gabah total per malai, dan bobot 100 biji menunjukkan nilai koefisien analisis jalur tidak nyata. Artinya sifat-sifat tersebut tidak berpengaruh langsung terhadap hasil, akan tetapi melalui sifat lainnya yaitu jumlah anakan produktif per tanaman dan bobot gabah per malai.

Seleksi terhadap suatu sifat yang memiliki korelasi nyata dan positif serta berpengaruh langsung dan positif yang tinggi terhadap hasil dapat membantu meningkatkan hasil (Devi dkk. 2017; Prakash dkk. 2018;

Muthuramu & Ragavan 2020). Pada penelitian ini jumlah anakan produktif per tanaman dan bobot gabah per malai memiliki korelasi nyata dan positif serta berpengaruh langsung positif yang tinggi terhadap hasil. Di sisi lain jumlah anakan produktif per tanaman dan bobot gabah per malai menunjukkan keragaman genetik luas, nilai heritabilitas arti luas tinggi dan nilai kemajuan genetik tinggi. Karena itu jumlah anakan produktif per tanaman dan bobot gabah per malai merupakan sifat penting dalam perbaikan daya hasil padi dan dapat dijadikan sifat antara untuk seleksi terhadap hasil. Hasil penelitian yang sama ditunjukkan oleh penelitian Riyanto dkk., (2021).

## **KESIMPULAN**

Kesimpulan penelitian ini adalah: 1. Aksi gen aditif dan epistasis komplementer mengendalikan sifat komponen hasil dan hasil, 2. Sifat komponen hasil dan hasil dikendalikan oleh gen monogenik atau poligenik tergantung sifat yang diamati dan 3. Sifat jumlah anakan produktif per tanaman dan bobot gabah per malai menunjukkan keragaman genetik luas, heritabilitas arti luas yang tinggi, kemajuan genetik tinggi, berkorelasi nyata dan positif serta berpengaruh langsung terhadap hasil sehingga dapat dijadikan karakter seleksi untuk menghasilkan padi berdaya hasil tinggi, memiliki ukuran beras panjang dan berbentuk ramping.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penelitian ini didanai oleh Riset Kompetitif dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Indonesia.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Ali, E. N. *et al.* (2018) 'Genetic variability and character association for earliness, yield and its contributing traits in F2 population of rice (*Oryza sativa* L.)', *Electronic Journal of Plant Breeding*, 9(3), pp. 1163–1169. doi: 10.5958/0975-928X.2018.00145.X.
- Anbanandan, V. and Eswaran, R. (2018) 'Genetic variability studies in rice genotypes', *European Journal of Biotechnology and Bioscience*, 6(5), pp. 74–75.
- Anwar, M. C. (2021) 'BPS ungkap Indonesia masih impor beras 356.286 ton di 2020', *Kompas*, 29 Maret 2021.
- Archana, R. S. *et al.* (2018) 'Correlation and path coefficient analysis for grain yield and yield components in rice (*Oryza sativa* L.)', *International Journal of Chemical Studies*, 6(4), pp. 189–195. doi: 10.22271/chemi.2020.v8.i2n.8888.
- Balla, M. Y. and Ibrahim, S. E. (2017) 'Genotypic correlation and path coefficient analysis of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] for yield and its components', *Agricultural Research and Technology*, 7(3), pp. 3–7. doi: 10.19080/ARTOAJ.2017.07.555715.
- Barmawi, M. (2007) 'Pola segregasi dan heritabilitas sifat ketahanan kedelai terhadap *Cowpea Mild Mottle Virus* populasi Wilis X MLG2521', *Journal HPT Tropika*, 7(1), pp. 48–52.
- Begum, H. A. and Sobhan, M. A. (1991) 'Genetic variability, heritability and correlation study in *C. capsularis*', *Bangladesh J. Jute Fibre Res.*, 16, pp. 113–118.
- Bornare, S. S., Mitra, S. K. and Mehta, A. K. (2014) 'Genetic variability, correlation and path analysis of floral, yield and its component traits in CMS and Restorer lines of rice (*Oryza sativa* L.)', *Bangladesh Journal of Botany*, 43(1), pp. 45–52.
- BPS (2021) *Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2020 (Angka Tetap)*. Badan Pusat Statistik Indonesia, Jakarta.

- Chaudhari, P. R. *et al.* (2018) 'Rice nutritional and medicinal properties: A review article', *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), pp. 150–156.
- Choudhary, A. K., Haider, Z. A., Mishra, S. B., *et al.* (2018) 'Assessment of genetic variability for yield and yield attributing traits in F<sub>2</sub> and F<sub>3</sub> population of rice (*Oryza sativa* L.) cross', *Current Journal of Applied Science and Technology*, 31(2), pp. 1–5. doi: 10.9734/cjast/2018/45875.
- Choudhary, A. K., Haider, Z. A., Prasad, K., *et al.* (2018) 'Selection response and genetic variability for yield and its component traits of rice (*Oryza sativa* L.)', *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(04), pp. 931–945. doi: 10.20546/ijemas.2018.704.099.
- Chozin, M., Sudjatmiko, S., *et al.* (2017) 'Analysis of traits association in sweet corn inbred lines as grown under organic crop management', *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 49(4), pp. 361–367.
- Chozin, M., Sumardi, *et al.* (2017) 'Genetic variability and traits association analyses on F<sub>2</sub> generations for determination of selection criteria in Indonesian inland swamp rice breeding', *Australian Journal of Crop Science*, 11(5), pp. 535–541. doi: 10.21475/ajcs.17.11.05.p317.
- Cuevas, R. P. *et al.* (2016) 'Rice grain quality and consumer preferences: A case study of two rural towns in the Philippines', *PLoS ONE*, 11(3), pp. 1–17. doi: 10.1371/journal.pone.0150345.
- Custodio, M. C. *et al.* (2019) 'Rice quality: how is it defined by consumers, industry, food scientists, and geneticists?.', *Trends in Food Science and Technology*, 92, pp. 122–137. doi: 10.1016/j.tifs.2019.07.039.
- Cyprien, M. and Kumar, V. (2011) 'Correlation and path coefficient analysis of rice cultivars data', *Journal of Reliability and Statistical Studies*, 4(2), pp. 119–131.
- Devi, K. R. *et al.* (2017) 'Analysis of variability, correlation and path coefficient studies for yield and quality traits in rice (*Oryza Sativa* L.)', *Agricultural Science Digest*, 37(1), pp. 1–9. doi: 10.18805/asd.v0iof.7328.
- El-Mohsen, A. A. A., Mahmoud, G. O. and Safina, S. A. (2013) 'Agronomical evaluation of six soybean cultivars using correlation and regression analysis under different irrigation regime conditions', *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 5(5), pp. 91–102.
- Faot, M. M., Zubaidah, S. and Kuswanto, H. (2019) 'Genetic correlation and path analysis of agronomical traits of soybean (*Glycine max*) lines infected by CpMMV', *Biodiversitas*, 20(6), pp. 1496–1503. doi: 10.13057/biodiv/d200602.
- Fehr, W. R. (1991) *Principles of Cultivar Development: Theory and Technique*. IOWA, USA: Macmillan Publishing Company. doi: 10.1097/00010694-198805000-00012.
- Fisher, R. A., Immer, F. R. and Tedin, O. (1932) 'The genetical interpretation of statistics of the third degree in the study of quantitative inheritance', *Genetics*, 17(2), pp. 107–24. doi: 10.1093/genetics/17.3.368.
- Govintharaj, P., Manonmani, S. and Robin, S. (2018) 'Variability and genetic diversity study in an advanced segregating population of rice with bacterial blight resistance genes introgressed', *Ciencia e Agrotecnologia*, 42(3), pp. 291–296. doi: 10.1590/1413-70542018423022317.
- Hajiaqatabar, A., Kiani, G. and Kazemitabar, S. K. (2016) 'Correlation and path coefficient analysis for yield and yield components in F<sub>2</sub> segregating populations of rice: Scientific note', *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 12(3), pp. 749–755. doi: 10.12816/0033377.
- Haryanto, T. A. D. *et al.* (2014) 'Path coefficient analysis on G39×Ciherang and Mentik Wangi×G39 Rice in F<sub>4</sub> Generation', *Agrivita*, 36(1), pp. 9–13. doi: 10.17503/agrivita-2014-36-1-p009-013.

- Haryanto, T. A. D. and Yoshida, T. (1996) 'Performance and interrelationship among several characters of pearl millet (*Pennisetum typhoideum* Rich.) population', *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 41(1-2), pp. 1-9.
- Hema, T. *et al.* (2019) 'Studies on genetic variability, association and path coefficient analysis in F2 derivatives of CR 1009 × WP 22-2 for earliness and semi-dwarfism in rice (*Oryza sativa* L.)', *Electronic Journal of Plant Breeding*, 10(2), pp. 585-591. doi: 10.5958/0975-928X.2019.00074.7.
- Herawati, R., Masdar and Alnopri (2019) 'Genetic analysis of grain yield of F4 populations for developing new type of upland rice', *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 51(1), pp. 68-79.
- Hermanto, S. (2017) 'Kebijakan harga beras ditinjau dari dimensi penentu harga', *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, Vol. 35 No. 1, Juli 2017: 31-43, 35(1), pp. 31-43. Available at: <http://dx.doi.org/10.21082/fae.v35n1.2017.31-43> 31.
- Jayaramachandran, M. *et al.* (2010) 'Gene action for yield attributing characters in segregating generation (M2) of sorghum (*Sorghum bicolor* L.)', *Electronic Journal of Plant Breeding*, 1(4), pp. 802-805.
- Johnson, H. W., Robinson, H. F. and Comstock, R. E. (1955) 'Estimates of genetic and environmental variability in soybeans', *Agronomy Journal*, 47(7), pp. 314-318. doi: 10.2134/agronj1955.00021962004700070009x.
- Kementan (2020) *Stok beras aman sampai 2020*, Kementerian Pertanian Indonesia. doi: 10.5025/hansen1930.13.4\_251.
- Kishore, N. S. *et al.* (2015) 'Genetic variability, correlation and path analysis for yield and yield components in promising rice (*Oryza sativa* L.) genotypes', *SAARC Journal of Agriculture*, 13(1), pp. 99-108. doi: 10.3329/sja.v13i1.24184.
- Kozak, M. and Kang, M. S. (2006) 'Note on modern path analysis in application to crop science', *Communications in Biometry and Crop Science*, 1(1), pp. 32-34.
- Kozak, M., Krzanowski, W. and Tartanus, M. (2012) 'Use of the correlation coefficient in agricultural sciences: problems, pitfalls and how to deal with them', *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 84(4), pp. 1147-1156. doi: 10.1590/S0001-37652012000400029.
- Lestari, A. P. *et al.* (2015) 'Panicle length and weight performance of F3 population from local and introduction hybridization of rice varieties', *HAYATI Journal of Biosciences*, 22(2), pp. 87-92.
- Mahmud, I. and Kramer, H. H. (1951) 'Segregation for yield, height, and maturity following a soybean cross', *Agronomy Journal*, 43(12), pp. 605-609. doi: 10.2134/agronj1951.00021962004300120005x.
- Mustafa, M. *et al.* (2019) 'Inheritance study for fruit characters of tomato IPBT78 X IPBT73 using joint scaling test', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 382(1), pp. 1-5. doi: 10.1088/1755-1315/382/1/012009.
- Muthuramu, S. and Ragavan, T. (2020) 'Genotypic correlation and path coefficient analysis for yield traits in rainfed rice (*Oryza sativa* L.)', *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(2), pp. 1621-1623.
- Nafisah *et al.* (2020) 'Genetic variabilities of agronomic traits and bacterial leaf blight resistance of high yielding rice varieties', *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 20(2), pp. 43-54.
- Nirmaladevi, G. *et al.* (2015) 'Genetic variability, heritability and correlation coefficients of grain quality characters in rice (*Oryza sativa* L.)', *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 47(4), pp. 424-433. doi: 10.1093/eurpub/ckl252.

- Nurhidayah, S., Wahyu, Y. and Suwarno, W. B. (2017) 'Estimation of genetic parameters and identification of transgressive segregants of population of peanut (*Arachis hypogaea* L.) in F<sub>3</sub> generation', *J. Agron. Indonesia*, 45(2), pp. 162–168. doi: 10.24831/jai.v45i2.12940.
- Olivoto, T. *et al.* (2017) 'Multicollinearity in path analysis: A simple method to reduce its effects', *Agronomy Journal*, 109(1), pp. 131–142. doi: 10.2134/agronj2016.04.0196.
- Patil, S. and Sahu, V. (2009) 'Correlation and path analysis of rice germplasm accessions', *International Journal of Plant Sciences*, 4(2), pp. 426–428.
- Petersen, R. G. (1994) *Agricultural Field Experiments: Design and Analysis*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Prakash, H. P. *et al.* (2018) 'Correlation and path coefficient analysis in elite germplasm of rice (*Oryza sativa* L.)', *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(7), pp. 177–187. doi: 10.20546/ijcmas.2018.707.400.
- Raghavendra, P. and Hittalmani, S. (2016) 'Genetic parameters of two BC<sub>2</sub>F<sub>1</sub> populations for development of superior male sterile lines pertaining to morpho-floral traits for aerobic rice (*Oryza sativa* L.)', *SAARC Journal of Agriculture*, 13(2), pp. 198–213. doi: 10.3329/sja.v13i2.26580.
- Rajamadhan, R., Eswaran, R. and Anandan, A. (2011) 'Investigation of correlation between traits and path analysis of rice (*Oryza Sativa* L.) grain yield under coastal salinity', *Electronic Journal of Plant Breeding*, 2(4), pp. 538–542.
- Rani, C. S. *et al.* (2016) 'Genetic variability studies and multivariate analysis in F<sub>2</sub> segregating populations involving medicinal rice (*Oryza sativa* L.) cultivar Kavuni', *International Journal of Agriculture Sciences*, 8(35), pp. 1733–1735.
- Ratna, M. *et al.* (2015) 'Correlation and path coefficients analyses in Basmati rice', *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 40(1), pp. 153–161. doi: 10.3329/bjar.v40i1.23768.
- Ratner, B. (2009) 'The correlation coefficient: Its values range between + 1 / - 1 , or do they?.', *Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing*, 17, pp. 139–142. doi: 10.1057/jt.2009.5.
- Riyanto, A. *et al.* (2021) 'Genetic parameter and analysis of traits interrelationship in F<sub>2</sub> rice generation of Inpago Unsoed 1 X Basmati Delta 9', *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 15(1), pp. 15–28. doi: 10.22587/aejsa.2021.15.1.2.
- Robson, D. (1956) 'Applications of the K<sub>4</sub> statistic to genetic variance component analyses', *Biometrics*, 12(4), pp. 433–444.
- Roy, D. (2000) *Plant Breeding: Analysis and Exploitation of Variance*. New Delhi: Narosa Publishing House.
- Saleem, M. Y., Iqbal, Q. and Asghar, M. (2013) 'Genetic variability, heritability, character association and path analysis in F<sub>1</sub> hybrids of tomato', *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 50(4), pp. 649–653.
- Samak, N. A. *et al.* (2011) 'Exploratory studies on genetic variability and genetic control for protein and micronutrient content in F<sub>4</sub> and F<sub>5</sub>', *Asian Journal of Plant Sciences*, 10(7), pp. 376–379.
- Sembiring, H. (2010) 'Ketersediaan inovasi teknologi unggulan dalam meningkatkan produksi padi menunjang swasembada dan ekspor', in Suprihatno, B. *et al.*, (ed) *Inovasi Teknologi Padi Untuk Mempertahankan Swasembada dan Mendorong Ekspor Beras* (pp. 1–16). Balai Besar Penelitian Tanaman Padi.

- Shah, A. *et al.* (2018) 'Estimation of genetic parameters and interrelationship among important traits in bread wheat', *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 7(3), pp. 93–99.
- Sheshaiah *et al.* (2018) 'Studies on variability and frequency distribution of yield and yield related traits in F<sub>2</sub> population of rice (*Oryza sativa* L.)', *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(9), pp. 2048–2052. doi: 10.5958/0975-928X.2018.00145.X.
- Singh, R. K. and Chaudhary, B. D. (1979) *Biometrical Methods in Quantitative Genetics Analysis*. New Delhi: Kalyani Publishers.
- Singh, S. K., Singh, C. M. and Lal, G. M. (2011) 'Assessment of genetic variability for yield and its component characters in rice (*Oryza sativa* L.)', *Research in Plant Biology*, 1(4), pp. 73–76.
- Sivasubramanian, S. and Menon, M. (1973) 'Heterosis and inbreeding depression in rice', *Madras Agricultural Journal*, 60, pp. 1139–1144.
- Stansfield, W. D. (1991) *Schaum's Outline of Theory and Problems of Genetics*. Third. New York: McGraw-Hill Companies.
- Steel, R. and Torrie, J. (1960) *Principle and Procedure of Statistics*. New York, USA: Mc Graw Bork Hall.
- Sudeepthi, K. *et al.* (2020) 'Assessment of genetic variability, character association and path analysis for yield and yield component traits in rice (*Oryza sativa* L.)', *Electronic Journal of Plant Breeding*, 11(1), pp. 65–69. doi: 10.37992/2020.1101.026.
- Sujata, B. *et al.* (2017) 'Estimation of gene actions and character association in F<sub>3</sub> and F<sub>4</sub> generations of little millet cross JK 8 X Peddasame Purple Early (*Panicum miliare*)', *International Journal of Agricultural Sciences*, 13(1), pp. 119–123. doi: 10.15740/has/ijas/13.1/119-123.
- Sumathi, K., Ganesan, K. K. N. and Senthil, N. (2018) 'Variability parameters studies in sorghum downy mildew resistant BC<sub>3</sub>F<sub>3</sub> progenies of maize', *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(06), pp. 3847–3854. doi: 10.20546/ijcmas.2018.706.453.
- Sundaram, K. M. *et al.* (2019) 'Genetic variability studies for yield and its components and quality traits with high iron and zinc content in segregating population of rice (*Oryza sativa* L.)', *International Journal of Chemical Studies*, 7(3), pp. 800–805.
- Supardi (2013) *Aplikasi Statistik Dalam Penelitian: Konsep Statistik Yang Lebih Komprehensif*. Jakarta: Change Publication.
- Tiwari, D. N. *et al.* (2019) 'Genetic variability and correlation coefficients of major traits in early maturing rice under rainfed lowland environments of Nepal', *Advances in Agriculture*, 2019, pp. 1–9. doi: 10.1101/520338.
- Vijaya, I. and Shailaja, H. (2018) 'Assessment of genetic parameters for yield and its related traits in f<sub>2</sub> populations involving traditional varieties of rice (*Oryza sativa* L.)', *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(1), pp. 2210–2217. doi: 10.20546/ijcmas.2018.701.266.
- Wahyu, Y. *et al.* (2018) 'Short communication: correlation, path analysis, and heritability of phenotypic characters of bread wheat F<sub>2</sub> populations', *Biodiversitas*, 19(6), pp. 2344–2352. doi: 10.13057/biodiv/d190644.