

Pendugaan Parameter Genetik Cabai Keriting Hasil Iradiasi Sinar Gamma

Nailan Nabila*, Rima Margareta Retnyo Gumelar, dan Amalia Nurul Huda
Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, UPN Veteran Yogyakarta
Jl. Padjajaran, Sleman, Yogyakarta, Indonesia 55283
*Alamat korespondensi: nailan.nabila@upnyk.ac.id

INFO ARTIKEL

ABSTRACT/ABSTRAK

Diterima: 24-03-2025

Direvisi: 03-07-2025

Dipublikasi: 14-08-2025

Keywords:

Differential selection,
Genetic gain, Genetic
variability, Heritability,
Yield

Estimation of genetic parameters of gamma ray irradiated curly chili

Induced mutation through gamma irradiation can generate genetic variation in chili peppers, but not all variations are beneficial. Evaluating genetic parameters and genetic gain is crucial for identifying useful and heritable traits, supporting effective selection and accelerating crop improvement. This study aimed to obtain genetic parameters and genetic gain of quantitative characters in gamma-irradiated curly chili and to identify putative mutant genotypes with higher yield than check variety. The experimental design used was a single-factor RCBD augmented design with 8 replications. The genetic materials used were 81 gamma-irradiated genotypes and Iggo, the check variety. The results of this study showed that the characteristics of leaf width, fruit weight, fruit length, fruit stalk length, fruit flesh thickness, number of fruits per plant and fruit weight per plant had wide genetic variation values and high broad-sense heritability. Fruit weight per plant was the character with the highest genetic variation and broad-sense heritability. Selection of genotypes using fruit weight per plant had positive differential value of selection and high genetic gain. Genotypes IG1 21, IG1 111, IG2 25, IG2 30, IG2 101, IG3 238, and IG4 140 had higher yields than the check variety and based on cluster analysis and biplot analysis were in a different group with check variety and need to be evaluated for the next generation.

Kata Kunci:

Diferensial seleksi,
Heritabilitas, Kemajuan
genetik, Keragaman
genetik, Produktivitas

Mutasi induksi dengan iradiasi gamma dapat menghasilkan variasi genetik pada tanaman cabai, namun tidak semua keragaman yang ada bersifat menguntungkan. Evaluasi parameter dan kemajuan genetik diperlukan untuk mengidentifikasi karakter yang bermanfaat dan diwariskan sehingga seleksi menjadi lebih efektif dan mempercepat perbaikan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh parameter genetik dan kemajuan genetik karakter kuantitatif cabai keriting hasil iradiasi sinar gamma dan memperoleh genotipe putatif mutan yang memiliki produktivitas lebih tinggi dibanding pembanding. Rancangan percobaan yang digunakan yaitu rancangan augmented RKL faktor tunggal dengan 8 ulangan. Bahan genetik yang digunakan yaitu 81 genotipe hasil iradiasi sinar gamma dan varietas pembanding berupa Iggo. Hasil dari penelitian ini yaitu Karakter lebar daun, bobot per buah, panjang buah, panjang tangkai buah, tebal daging buah, jumlah buah per tanaman dan bobot buah per tanaman memiliki nilai ragam genetik luas dan heritabilitas arti luas tinggi. Bobot buah per tanaman adalah karakter dengan ragam genetik dan heritabilitas arti luas paling tinggi. Seleksi genotipe menggunakan karakter bobot buah per tanaman memiliki nilai differensial seleksi positif dan kemajuan genetik tinggi. Genotipe IG1 21, IG1 111, IG2 25, IG2 30, IG2 101, IG3 238, IG4 140 memiliki produktivitas lebih tinggi

dibandingkan dengan varietas pembanding dan berdasarkan analisis kluster dan biplot berada pada kelompok yang berbeda dengan pembanding dan perlu dievaluasi untuk generasi selanjutnya.

PENDAHULUAN

Pengembangan varietas unggul baru untuk mengatasi tantangan global seperti perubahan iklim dan ketahanan pangan memerlukan adanya keragaman sumber daya genetik. Penggunaan varietas unggul cabai keriting di Indonesia yang seragam secara luas dan proses seleksi yang homogen dalam pemuliaan konvensional mengakibatkan kegiatan pemuliaan cabai memiliki tantangan berupa penyempitan keragaman genetik. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Terryana dkk., 2018 menunjukkan bahwa dari 27 genotipe cabai keriting yang diuji, mengelompokkan cabai menjadi dua kelompok utama dan mengindikasikan bahwa keragaman genetik antar genotipe masih terbatas. Hasil penelitian yang sama juga dilaporkan oleh Budiyantri dkk. (2024), bahwa dari 23 genotipe cabai lokal yang diuji diperoleh kesamaan genetik antara 0,67-0,97. Hal tersebut menunjukkan adanya keseragaman genetik yang tinggi pada varietas cabai lokal. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan keragaman genetik secara cepat yaitu menggunakan induksi mutasi. Teknologi induksi mutasi telah terbukti sebagai teknik paling efektif dalam menciptakan genetik baru dalam genom tanaman (Ahmad *et al.*, 2023). Induksi variabilitas genetik melalui mutasi berperan penting dalam meningkatkan kualitas dan produktivitas tanaman (Zafar *et al.*, 2022). Penggunaan radiasi sebagai mutagen fisik banyak digunakan untuk menginduksi terjadinya mutasi pada tanaman (Ali & Suryakant, 2024). Bagian tanaman yang terpapar agen mutagenik seperti radiasi dapat mengakibatkan terjadinya perubahan DNA dan proses pembelahan sel secara tidak normal sehingga dapat menghasilkan keragaman genetik baru (Yali & Mitiku, 2022).

Pemuliaan mutasi pada tanaman cabai di Indonesia hingga saat ini lebih banyak difokuskan pada tujuan ketahanan terhadap penyakit seperti virus PepYLCV penyebab keriting kuning (Tarigan *et al.*, 2023; Farabi dkk., 2023), peningkatan kualitas buah (Arrufitasari dkk., 2025), cekaman kekeringan (Roziqoh dkk., 2023), tujuan tanaman hias (Ulinuha dkk., 2022), perbaikan pertumbuhan dan hasil pada cabai varietas Tanjung 2 (Fahrudin & Slameto, 2024), peningkatan keragaman genetik cabai rawit Prentul

Kediri (Rohcahyani dkk., 2022), dan perbaikan pertumbuhan dan produksi cabai katokkon *Capsicum chinensie Jacq.* (Senolinggi dkk., 2024). Selain itu, varietas yang digunakan dalam penelitian mutasi tersebut umumnya berasal dari cabai merah besar dan cabai rawit (*Capsicum frutescens*), bukan cabai keriting yang memiliki struktur buah khas. Studi yang mengaitkan mutasi fisik dengan pendekatan kuantitatif melalui pendugaan parameter genetik masih terbatas khususnya pada populasi cabai keriting hasil iradiasi generasi awal. Informasi parameter genetik ini sangat penting dalam menentukan strategi seleksi yang efektif dan efisien pada tahap kegiatan pemuliaan mutasi. Pemahaman tentang bagaimana keragaman genetik buatan melalui mutasi dapat dimanfaatkan secara selektif melalui pendekatan kuantitatif untuk meningkatkan produktivitas dengan menghitung nilai keragaman genetik, heritabilitas, dan kemajuan genetik dari genotipe hasil iradiasi sinar gamma.

Generasi mutan pertama umumnya menunjukkan sifat heterozigot karena mutasi yang terjadi hanya memengaruhi sebagian sel pada embrio atau jaringan meristem. Kondisi ini menyebabkan munculnya keragaman genetik awal akibat perubahan acak pada materi genetik (Kitamura *et al.*, 2022). Analisis parameter genetik seperti koefisien keragaman genetik, heritabilitas, dan kemajuan genetik memberikan gambaran tentang pengaruh genetik dan potensi pewarisan sifat. Pemahaman nilai-nilai tersebut menjadi kunci untuk mengarahkan strategi dan waktu seleksi, terutama pada populasi hasil mutasi sinar gamma. Pengembangan varietas mutan yang memiliki produksi tinggi dan stabil dapat dilakukan dengan menganalisis aspek genetik dari karakter kuantitatif tanaman seperti koefisien ragam fenotipe dan genotipe, heritabilitas, kemajuan genetik, aliran gen dan analisis kluster untuk memperoleh varietas baru cabai yang memiliki produksi tinggi (Komala *et al.*, 2023). Nilai koefisien keragaman genetik (KKG) yang tinggi, disertai dengan heritabilitas dan kemajuan genetik yang besar pada populasi mutan hasil perlakuan mutagen, dibandingkan dengan tetuanya, menunjukkan adanya peluang seleksi yang luas untuk peningkatan sifat hasil pada varietas lentil (Laskar & Khan, 2017). Paparan sinar gamma pada populasi M₁

menyebabkan peningkatan nilai KKG dan koefisien keragaman fenotipe (KKF), heritabilitas tinggi serta kemajuan genetik yang signifikan pada karakter kuantitatif, menunjukkan adanya kontribusi efek genetik aditif dan mendukung pelaksanaan seleksi sejak generasi awal (Ganapati *et al.*, 2015). Ekspresi keragaman genetik akibat mutasi cenderung lebih stabil pada generasi M_2 dan M_3 , namun pengamatan pada generasi M_1 tetap memiliki peran penting untuk mengidentifikasi tanda-tanda awal perubahan genetik serta potensi variabilitas yang dapat diwariskan, sehingga relevan untuk dievaluasi pada tahap awal proses pemuliaan (Anitha *et al.*, 2021). Seleksi pada generasi awal akan lebih efektif apabila karakter yang menjadi tujuan seleksi memiliki nilai koefisien keragaman genetik dan fenotip yang tinggi, nilai heritabilitas tinggi dan berkorelasi positif yang signifikan (Karim *et al.*, 2022).

Heritabilitas memegang peran penting dalam menentukan metode seleksi serta generasi yang tepat untuk menyeleksi karakter yang diinginkan (Suliantini dkk., 2023). Heritabilitas menggambarkan hubungan antara keragaman fenotipik dan keragaman genotipik. Heritabilitas suatu karakter merupakan parameter genetik penting yang tidak dapat digeneralisasikan pada semua tanaman, karena bersifat spesifik dan hanya berlaku untuk materi genetik yang digunakan dalam percobaan serta kondisi lingkungan tempat percobaan dilakukan (Majhi, 2019). Nilai heritabilitas dalam bidang pemuliaan tanaman berguna untuk memperkirakan respons tanaman terhadap seleksi dan sebagai indikator deskriptif yang menilai ketepatan uji coba genotipe. Seleksi karakter secara fenotipik efektif jika karakter tersebut memiliki keragaman genetik luas, pengaruh lingkungan yang rendah, dominansi aksi gen aditif, heritabilitas tinggi dan kemajuan genetik yang besar (Markam & Sharma, 2022). Heritabilitas berperan penting dalam memprediksi kemajuan genetik dan merumuskan strategi seleksi tanaman (Sinha *et al.*, 2021). Dalam perancangan indeks seleksi, heritabilitas memegang peran kunci untuk memaksimalkan kemajuan genetik, khususnya pada kondisi di mana genotipe menunjukkan respons yang bervariasi di berbagai lingkungan (Joukhadar *et al.*, 2024). Pada karakter yang memiliki nilai heritabilitas dan kemajuan genetik yang tinggi, menandakan bahwa peningkatan sifat kuantitatif dapat dicapai melalui seleksi sederhana sejak generasi M_1 (Riyanto *et al.*, 2024).

Informasi terkait parameter genetik seperti keragaman, heritabilitas, dan kemajuan genetik dari

koleksi genotipe yang dimiliki pemulia sangat penting dalam menentukan langkah pemuliaan apa yang efektif dalam mencapai tujuan. Nilai parameter genetik dari setiap genotipe dan lingkungan tumbuh memiliki karakteristik yang berbeda-beda, karena fenotipe tanaman ditentukan oleh seberapa besar interaksi faktor genetik dan lingkungannya. Pada rangkaian penelitian ini kami melakukan induksi mutasi sinar gamma pada varietas Iggo dengan dosis 0 Gy, 100 Gy, 200 Gy, 300 Gy, 400 Gy, dan 500 Gy. Varietas Iggo merupakan varietas unggul nasional yang tahan virus dan penyakit kuning yang banyak ditanam petani di wilayah Yogyakarta. Dosis rekomendasi iradiasi sinar gamma ditentukan berdasarkan nilai LD50 yaitu 364 Gy dan GR50 pada dosis 238 Gy. Tanaman yang tumbuh pada dosis LD50, kami lakukan pindah tanaman di lahan sebagai generasi M_1 . Pada generasi ini kami juga melakukan penanaman terhadap tanaman yang menunjukkan adanya gejala terjadinya mutasi seperti daun yang mengkriting pada dosis dibawahnya GR50 dan LD50. Luaran yang diharapkan bisa dicapai dari pemuliaan mutasi cabai keriting ini yaitu varietas cabai bersari bebas yang memiliki produktivitas yang mendekati varietas hibrida. Artikel ini bertujuan untuk mengevaluasi parameter genetik dan kemajuan genetik karakter kuantitatif cabai keriting hasil iradiasi sinar gamma dan memperoleh genotipe putatif mutan yang memiliki produktivitas tinggi pada generasi M_1 .

BAHAN DAN METODE

Waktu, Tempat dan Rancangan Percobaan

Penelitian ini dilaksanakan pada Juli-Desember 2023 di Kebun percobaan Wedomartani, Sleman dengan ketinggian 185 mdpl. Rancangan percobaan yang digunakan yaitu rancangan augmented dengan rancangan lingkungan rancangan kelompok lengkap teracak (RKLT) faktor tunggal dengan 8 ulangan. Setiap unit percobaan terdiri dari empat tanaman. Bahan genetik yang digunakan pada penelitian ini yaitu 81 genotipe hasil iradiasi sinar gamma varietas Iggo pada dosis 100, 200, 300 dan 400 Gy dan varietas Iggo sebagai varietas pembanding. Bahan lain yang digunakan yaitu pupuk organik kotoran sapi, pupuk anorganik NPK (16:16:16) dengan dosis 10 g/l dan pupuk gandasil D dan B dengan dosis 2 g/l. Pengendalian hama dan penyakit tanaman dilakukan menggunakan insektisida berbahan aktif karbofuran yang diaplikasikan pada saat tanam, insektisida berbahan aktif abamektrin,

deltametrin, fungisida bahan aktif mancozeb dengan dosis 2 ml/l yang diaplikasikan seminggu sekali dengan metode *spray*.

Pengamatan Karakter Agronomi

Karakter agronomi yang diamati pada penelitian ini terdiri dari karakter vegetatif dan karakter generatif. Karakter vegetatif terdiri dari tinggi tanaman (cm), tinggi dikotomus (cm), diameter batang (mm), panjang daun (cm), dan lebar daun (cm), sedangkan karakter generatif terdiri dari bobot per buah (g), panjang buah (cm), panjang tangkai buah (cm), diameter buah (mm), tebal daging buah (mm), jumlah buah per tanaman (buah), dan bobot buah per tanaman (g). Pengamatan karakter agronomi dilakukan pada semua tanaman yang tumbuh.

Analisis Data

Data dianalisis ragam menggunakan uji F pada taraf 5%. Jika terdapat perbedaan di antara genotipe yang diuji maka dilanjutkan dengan uji lanjut LSD pada taraf 5% untuk mengidentifikasi genotipe-genotipe yang memiliki karakter kuantitatif lebih baik dibandingkan pembanding Iggo pada karakter jumlah buah per tanaman dan bobot buah per tanaman. Karakter jumlah buah per tanaman dan bobot buah per tanaman dipilih karena karakter ini bisa menggambarkan produktivitas tanaman. Adapun pembanding Iggo dipilih karena Iggo merupakan varietas unggul nasional dan juga merupakan Mo dalam penelitian ini. Genotipe-genotipe tersebut kemudian dilakukan analisis klastering dan biplot untuk mengelompokkan genotipe berdasarkan karakteristik yang memiliki kemiripan. Analisis klastering dan biplot dilakukan menggunakan semua karakter kuantitatif yang diamati. Analisis klastering dilakukan menggunakan metode dissimilarity Euclidean tipe fuzzy dengan aplikasi PBSTAT, sedangkan analisis biplot dilakukan menggunakan aplikasi STAR 2.0.1.

Analisis Parameter Genetik

Informasi terkait potensi genetik dari koleksi genotipe yang diuji maka dilakukan analisis parameter genetik yang terdiri dari pendugaan komponen ragam, pendugaan nilai heritabilitas arti luas, differensial seleksi dan kemajuan genetik. Analisis dilakukan menggunakan SAS on *Demand for Academic* untuk uji F dan uji lanjut dan MS. Excel untuk analisis parameter genetik.

1. Pendugaan komponen ragam

Komponen ragam yang dianalisis terdiri dari ragam fenotipe, ragam genetik, dan ragam lingkungan menggunakan pendekatan hasil analisis ragam/anova (Tabel 1).

$$\text{Ragam genetik } (\sigma_g^2) = \frac{KTg - KTe}{r}$$

$$\text{Ragam lingkungan } (\sigma_e^2) = KTe$$

$$\text{Ragam fenotip } (\sigma_f^2) = \sigma_g^2 + \sigma_e^2$$

$$\text{Standar deviasi genetik } (\sigma\sigma_g^2) =$$

$$\sqrt{\frac{2}{r^2} \left(\frac{KTg^2}{dbg+2} + \frac{KTe^2}{dbe+2} \right)}$$

$$\text{Standar deviasi fenotipe } (\sigma\sigma_f^2) = \sqrt{\frac{2}{r^2} \left(\frac{KTg^2}{dbg+2} \right)}$$

Karakter kuantitatif memiliki keragaman genetik dan fenotip luas jika nilai ragam genetik atau fenotipe dua kali lebih besar dibandingkan simpangan bakunya.

Tabel 1. Analisis ragam augmented RKL

Sumber keragaman	Db	KT	F hitung
Ulangan	r-1	KTu	KTb/KTe
Genotipe	(g+c)-1	KTp	KTp/KTe
Checks (c)	c-1	KTc	KTc/KTe
Genotipe (g)	g-1	KTg	KTg/KTe
C vs g	1	KTcxg	KTcxg/KTe
Galat	(g+rc)-1- ((g+c)-1)-(r-1)	KTe	
Total			

(Syahril, 2018)

2. Pendugaan nilai heritabilitas arti luas

Nilai heritabilitas arti luas dihitung menggunakan rumus:

$$h_{bs}^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_f^2}$$

Karakter dengan nilai heritabilitas tinggi jika nilai $h_{bs}^2 > 0,50$, sedang $0,20 \geq h_{bs}^2 \geq 0,50$, dan rendah $h_{bs}^2 < 0,20$ (Fehr, 1991).

3. Differensial seleksi dan kemajuan genetik

Differensial seleksi dan kemajuan genetik dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

Differensial Seleksi (S) = ((rata-rata tanaman terseleksi (X_s) - rata-rata awal (X_p))/rata-rata awal)*100%

$$\text{Respon seleksi (R)} = i \times h_{bs}^2 \times \delta_p$$

$$\text{Kemajuan genetik } (\Delta G) = \frac{R}{\bar{x}_p} \times 100\% \text{ (Fehr 1991).}$$

R= respon seleksi; i= konstanta intensitas seleksi (i=1,76 untuk intensitas seleksi 10%); δ_p = simpangan baku fenotipe. Kategori rendah ($0 \leq \Delta G \leq 3,3\%$), agak rendah ($3,3\% \leq \Delta G \leq 6,6\%$), sedang ($6,6\% \leq \Delta G \leq 10\%$), tinggi ($\Delta G \geq 10\%$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakter Agronomi Cabai Keriting Hasil Iradiasi Sinar Gamma

Pada penelitian ini, pengamatan karakter agronomi dilakukan untuk melihat pengaruh dari irradiasi sinar gamma pada cabai keriting. Berdasarkan hasil analisis ragam, terdapat perbedaan di antara genotipe yang diuji, yaitu pada karakter lebar daun, bobot per buah, panjang buah, tebal daging buah, bobot buah per tanaman dan jumlah buah per tanaman. Karakter tersebut memiliki nilai koefisien keragaman berturut-turut yaitu jumlah buah per tanaman (25,30%), bobot buah per tanaman

(11,87%), bobot per buah (10,02%), lebar daun (8,23%), dan panjang buah (4,18%) (Tabel 2). Dalam kegiatan pemuliaan tanaman keragaman yang tinggi diperlukan agar kegiatan seleksi lebih efektif. Keragaman dapat dilihat dari perbedaan nilai pengamatan antar tanaman dan merupakan komponen penting pada kegiatan pemuliaan tanaman (Samudin dkk., 2022). Pemulia menggunakan keragaman genetik untuk mengembangkan kultivar baru dengan agronomi yang lebih baik, seperti produksi yang lebih tinggi, toleransi terhadap cekaman biotik dan abiotik, dan peningkatan kualitas gizi bahan makanan (Swarup *et al.*, 2021).

Tabel 2. Rekapitulasi hasil analisis ragam karakter kuantitatif cabai keriting hasil iradiasi sinar gamma

Karakter	F-Hitung	Check	Genotipe	KK
Tinggi tanaman	1,13	4,03*	1,06	12,28
Tinggi dikotomus	0,56	0,90	0,50	23,24
Diameter batang	2	0,01	1,91	13,05
Panjang daun	1,21	2,45	1,09	10,43
Lebar daun	2,98*	13,69**	2,32*	8,23
Bobot per buah	4,83**	56,21**	2,79*	10,02
Panjang buah	21,1**	194,99**	14,41**	4,18
Panjang tangkai buah	2,42*	16,32**	2,04	5,77
Diameter buah	2,16	9,61	1,81	5,79
Tebal daging buah	3,12*	16,46**	2,53*	7,04
Jumlah buah per tanaman	2,70*	0,39	2,71*	25,30
Bobot buah per tanaman	19,98**	22,40**	16,92**	11,87

Keterangan: * berbeda signifikan pada $\alpha=0,05$; ** berbeda signifikan pada $\alpha=0,01$; KK = Koefisien Keragaman.

Uji lanjut LSD 5% dilakukan pada semua karakter yang berbeda nyata. Hasil uji lanjut LSD 5%, terdapat 12 genotipe yang memiliki jumlah buah per tanaman nyata lebih tinggi dibanding tetua Iggo yaitu genotipe IG1 021, IG1 107, IG1 111, IG1 130, IG2 025, IG2 030, IG2 101, IG2 244, IG3 238, IG4 132, IG4 140, dan IG4 236 (Tabel 3). Genotipe IG1 111 dan IG4 132 adalah genotipe yang memiliki lebar daun, jumlah buah per tanaman dan bobot buah pertanaman yang lebih tinggi dibandingkan tetua Iggo (Tabel 3). Genotipe IG2 244 dan IG4 236 memiliki jumlah buah signifikan lebih tinggi terhadap tetua Iggo namun bobot buah per tanamannya tidak berbeda dengan Iggo. Pada genotipe tersebut tanaman mampu berbuah banyak namun ukuran buahnya kecil

sehingga bobot per tanamannya rendah (sama dengan tetua Iggo). Sementara itu pada genotipe lainnya, jumlah buah per tanaman berbanding lurus dengan bobot buah per tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa iradiasi sinar gamma dapat menciptakan keragaman baru pada karakter produksi cabai keriting pada parameter jumlah buah dan bobot buah per tanaman. Iradiasi sinar gamma dapat meningkatkan keragaman genetik pada karakter lebar tajuk dan umur panen pada populasi M2 varietas lingga dosis 450 Gy (Nugroho dkk., 2022). Iradiasi sinar gamma kronis pada dosis 30.47 dan 19.40 Gy pada varietas cabai Bangi 3 dan Bangi 5 juga dapat menginduksi keragaman pada karakter panjang buah cabai (Hashim *et al.*, 2024).

Tabel 3. Hasil uji lanjut LSD pada genotipe yang memiliki produksi nyata lebih tinggi dibandingkan varietas pembanding Iggo

Genotipe	LD	BB	PB	TDB	JBT	BBT
IG1 107	3,55 ^a	5,19 ^a	15,10 ^a	0,78 ^a	85 ^b	529,29 ^b
IG1 111	4,63 ^b	6,27 ^a	14,90 ^a	1,12 ^a	77 ^b	446,79 ^b
IG1 130	3,48 ^a	5,87 ^a	13,37 ^a	1,14 ^a	111 ^b	519,65 ^b
IG1 21	3,05 ^a	6,55 ^a	13,96 ^a	1,23 ^a	86 ^b	565,57 ^b
IG2 101	4,00 ^a	6,55 ^a	15,46 ^a	1,16 ^a	110 ^b	699,95 ^b
IG2 244	3,13 ^a	4,96 ^a	11,65 ^a	1,11 ^a	95 ^b	301,07 ^a
IG2 25	3,25 ^a	6,75 ^a	14,24 ^a	1,25 ^a	94 ^b	594,77 ^b
IG2 30	3,25 ^a	7,17 ^a	16,55 ^a	1,21 ^a	97 ^b	616,04 ^b
IG3 238	3,45 ^a	6,61 ^a	15,90 ^a	1,10 ^a	88 ^b	425,81 ^b
IG4 132	4,38 ^b	5,70 ^a	14,50 ^a	1,03 ^a	104 ^b	429,50 ^b
IG4 140	3,80 ^a	6,12 ^a	15,88 ^a	1,29 ^a	118 ^b	544,59 ^b
IG4 236	3,15 ^a	5,56 ^a	14,15 ^a	1,08 ^a	98 ^b	295,69 ^a
Iggo	3,39 ^a	6,28 ^a	15,11 ^a	1,16 ^a	51 ^a	223,88 ^a

Keterangan: LD = lebar daun (cm); BB = bobot per buah (g); PB = Panjang buah (cm); TDB = tebal daging buah (mm); JBT = jumlah buah per tanaman (buah); BBT = bobot buah per tanaman (g).

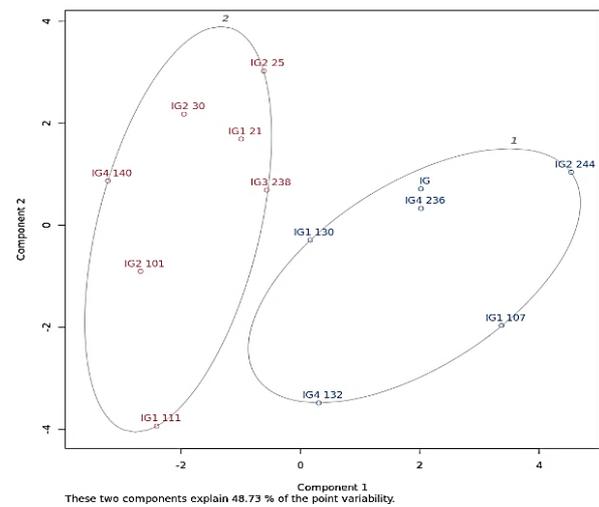
Hasil Analisis Klustering dan Biplot Genotipe Cabai Keriting Hasil Irradiasi Sinar Gamma

Hasil pengelompokan menggunakan metode dissimilarity Euclidean tipe fuzzy mengelompokkan kedua belas genotipe tersebut pada dua kelompok besar dan mampu menjelaskan keragaman sebesar 48,73%. Kelompok 1 terdiri Iggo, IG2 244, IG4 236, IG1 130, IG1 107, dan IG4 132, sedangkan kelompok 2 terdiri dari IG1 21, IG1 111, IG2 25, IG2 30, IG2 101, IG3 238, IG4 140 (Gambar 1). Genotipe pada kelompok 1 adalah genotipe yang memiliki kemiripan lebih dekat dengan tetua Iggo, sedangkan genotipe pada kelompok 2 (Gambar 2) memiliki keragaman karakter kuantitatif yang berbeda dengan tetua Iggo sehingga berpotensi untuk dilanjutkan ke generasi selanjutnya. Genotipe pada kelompok 1 memiliki rata-rata jumlah buah per tanaman sebesar 98,6 buah dengan bobot buah per tanaman sebesar 415,04 g/tanaman, sedangkan kelompok 2 memiliki rata-rata jumlah buah per tanaman sebesar 98,83 buah dengan rata-rata bobot buah per tanaman sebesar 556,22 g/tanaman, dan tetua Iggo memiliki jumlah buah per tanaman sebesar 51 dan bobot buah per tanaman sebesar 223,88 g/tanaman (Tabel 3). Berdasarkan data pada Tabel 3 dan Gambar 1, genotipe yang tergolong pada kelompok 2 adalah genotipe yang memiliki bobot buah per tanaman dan jumlah buah per tanaman yang lebih tinggi dan memiliki karakteristik yang berbeda dengan tetua Iggo sebagai dampak dari iradiasi sinar gamma,

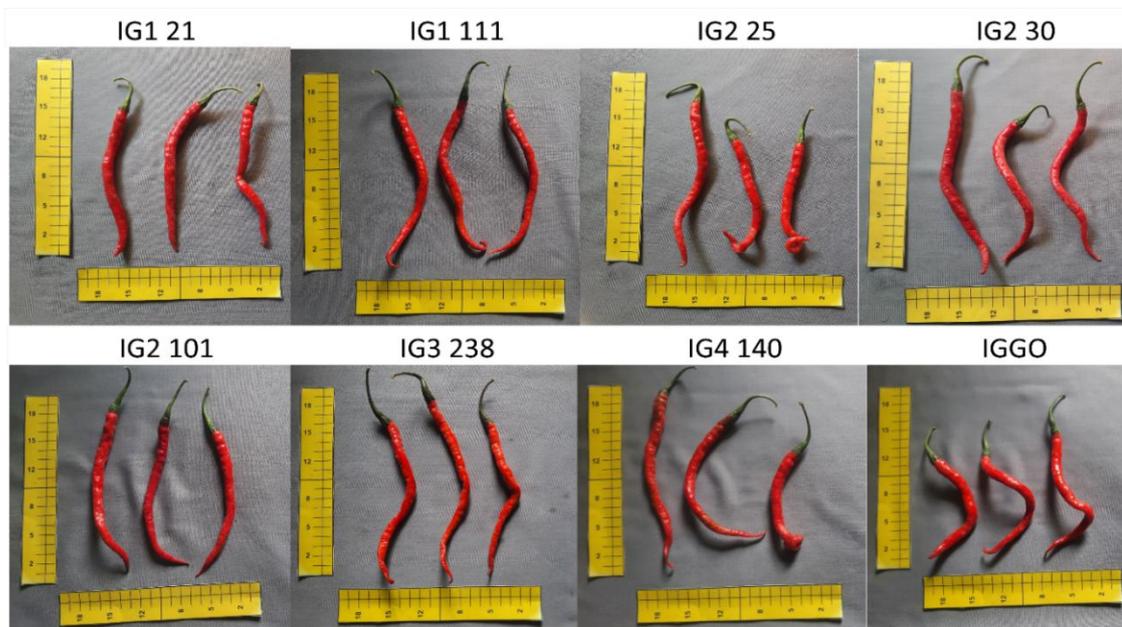
sehingga direkomendasikan untuk dilanjutkan ke generasi selanjutnya. Berdasarkan hasil analisis biplot, di antara genotipe yang memiliki kelompok berbeda dengan pembanding Iggo, genotipe IG4 140 adalah genotipe yang diarahkan untuk meningkatkan produktivitas melalui peningkatan jumlah buah per tanaman, sedangkan genotipe IG2 101, IG2 30, IG2 25, IG1 21, IG1 111, dan IG3 238 adalah genotipe yang diarahkan untuk meningkatkan produktivitas melalui peningkatan bobot buah per tanaman (Gambar 3).

Hasil penelitian yang sama juga dilaporkan oleh Fahrudin dan Slameto (2024) bahwa iradiasi sinar gamma dosis 150 Gy pada cabai merah varietas tanjung dapat memengaruhi pertumbuhan dan produksi buah yang lebih baik. Iradiasi sinar gamma pada dosis 200 Gy dan 400 Gy secara umum menurunkan bobot buah rata-rata cabai rawit seiring dengan meningkatnya dosis iradiasi, namun pada iradiasi dosis 400 Gy diperoleh genotipe tanaman yang memiliki bobot buah rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan varietas kontrolnya. Pada karakter jumlah buah per tanaman, iradiasi dosis 400 Gy meningkatkan jumlah buah per tanaman (Arumingtyas & Ahyar 2022). Hal yang sama juga ditemukan pada penelitian ini, dimana pada dosis 200 Gy dan 400 Gy diperoleh beberapa genotipe yang memiliki jumlah buah per tanaman dan bobot buah per tanaman yang lebih tinggi dibandingkan varietas kontrolnya. Karakteristik kuantitatif seperti hasil dan

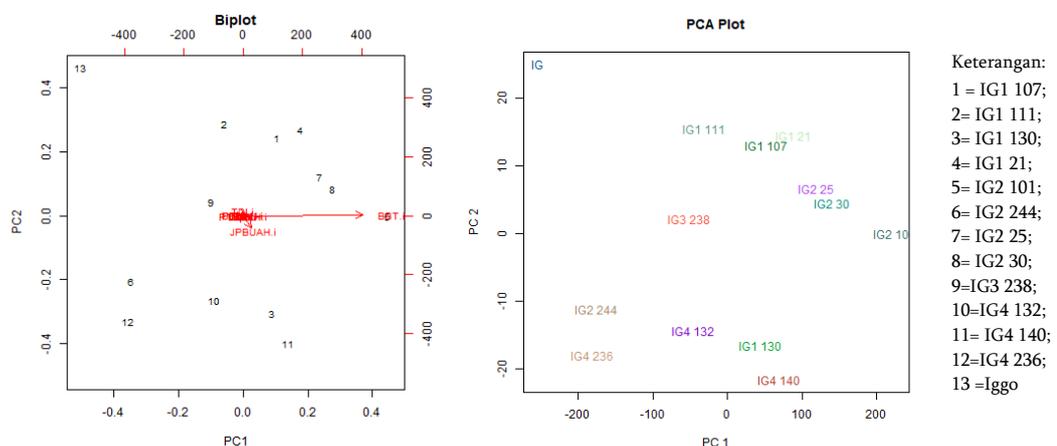
komponen-komponennya biasanya dipengaruhi oleh sejumlah besar gen (poligen), di mana masing-masing gen memberikan kontribusi kecil terhadap tampilan fenotipik tanaman. Oleh karena itu, mutasi yang terjadi pada satu atau beberapa gen tersebut berpotensi menghasilkan variasi fenotipik yang dapat diukur secara kuantitatif (Bado *et al.*, 2015). Mutasi ini dapat terjadi pada gen struktural maupun regulator yang terlibat dalam proses fisiologis dan metabolik tanaman, seperti biosintesis hormon pertumbuhan, pembentukan bunga dan buah, serta respons terhadap stres. Perubahan dalam ekspresi gen tersebut juga dapat memengaruhi morfologi serta produktivitas tanaman cabai (Rohcahyani *dkk.*, 2022).



Gambar 1. Pengelompokan genotipe berdasarkan metode clustering fuzzy.



Gambar 2. Genotipe cabai keriting terpilih.



Gambar 3. Analisis biplot genotipe cabai keriting hasil irradiasi sinar gamma.

Parameter Genetik

Berdasarkan Tabel 4, semua karakter kuantitatif yang diamati memiliki ragam fenotipe luas sedangkan karakter yang memiliki ragam genotip luas yaitu lebar daun, bobot per buah, panjang buah, panjang tangkai buah, tebal daging buah, jumlah buah per tanaman, dan bobot buah per tanaman. Adanya keragaman genotipe yang luas pada karakter tersebut menunjukkan adanya keragaman yang berasal dari faktor genetik dan dapat dimanfaatkan dalam memilih genotipe dengan keragaan yang sesuai dengan tujuan pemuliaan pada tahap seleksi. Karakter bobot buah per tanaman adalah karakter yang

memiliki ragam fenotipe dan ragam genotip yang paling tinggi (Tabel 4). Hasil ini melengkapi hasil temuan sebelumnya, yaitu pada genotipe mutan M1 cabai rawit, karakter vegetatif diameter batang, panjang tangkai daun, dan panjang daun memiliki keragaman genetik luas (Margareta dkk., 2023). Pada populasi generasi M2 varietas Lingga, karakter yang memiliki keragaman genetik luas yaitu karakter umur panen dan lebar tajuk (Nugroho dkk., 2022). Karakter yang memiliki ragam fenotipe dan genotipe luas pada varietas laris dengan dosis 400Gy yaitu tinggi tanaman, jumlah buah total, dan bobot buah total (Sa'diyah dkk., 2019).

Tabel 4. Ragam genetik, ragam fenotipe dan heritabilitas arti luas karakter kuantitatif cabai keriting hasil iradiasi sinar gamma

Karakter	σ^2g	$\sigma\sigma^2g$	Kriteria	σ^2p	$\sigma\sigma^2p$	Kriteria	h^2bs	
Tinggi tanaman	0,74	4,67	sempit	12,70	1,98	Luas	5,83	Rendah
Tinggi dikotomus	-3,06	2,20	sempit	3,01	0,47	Luas	0,00	Rendah
Diameter batang	0,23	0,12	sempit	0,49	0,08	Luas	47,54	Sedang
Panjang daun	0,01	0,05	sempit	0,13	0,02	Luas	8,20	Rendah
Lebar daun	0,01	0,00	luas	0,02	0,00	Luas	56,91	Tinggi
Bobot per buah	0,07	0,02	luas	0,11	0,02	Luas	64,11	Tinggi
Panjang buah	0,62	0,11	luas	0,67	0,10	Luas	93,06	Tinggi
Panjang tangkai buah	0,01	0,00	luas	0,01	0,00	Luas	50,87	Tinggi
Diameter buah	0,03	0,02	sempit	0,06	0,01	Luas	44,80	Sedang
Tebal daging buah	0,00	0,00	luas	0,00	0,00	Luas	60,51	Tinggi
Jumlah buah per tanaman	40,95	13,19	luas	64,84	10,13	Luas	63,16	Tinggi
Bobot buah per tanaman	2019,37	338,17	luas	2146,21	335,18	Luas	94,09	Tinggi

Keterangan: σ^2g = ragam genetik; $\sigma\sigma^2g$ = standar deviasi ragam genetik; σ^2p = ragam fenotipe; $\sigma\sigma^2p$ = standar deviasi ragam fenotipe; h^2bs = heritabilitas arti luas.

Pada parameter nilai heritabilitas, karakter yang memiliki nilai heritabilitas tinggi yaitu lebar daun, bobot per buah, panjang buah, panjang tangkai buah, tebal daging buah, jumlah buah per tanaman, dan bobot buah per tanaman. Karakter bobot buah per tanaman adalah karakter yang memiliki nilai heritabilitas tertinggi sebesar 90,09 dengan ragam genetik yang luas (2019,37 ± 338,17) (Tabel 4). Hal ini menunjukkan bahwa keragaman pada karakter bobot buah per tanaman lebih dipengaruhi oleh faktor genetik dan bersifat mewaris sehingga dapat digunakan sebagai karakter kriteria seleksi untuk mendapatkan cabai keriting dengan produksi tinggi. Seleksi dengan menggunakan karakter yang memiliki nilai heritabilitas tinggi juga dapat memberikan hasil yang konsisten antar generasi. Sebagian besar karakter kuantitatif cabai memiliki nilai heritabilitas dan kemajuan genetik tinggi, yang menunjukkan ekspresi dari karakter kuantitatif tersebut lebih dipengaruhi oleh faktor genetik daripada faktor

lingkungan sehingga karakter tersebut dapat digunakan untuk mengembangkan genotipe unggul berdasarkan keragaman fenotipe yang ada (Hashim *et al.*, 2024). Karakter dengan nilai ragam genotipik, ragam fenotipik tinggi dengan heritabilitas sedang hingga tinggi akan menghasilkan kemajuan genetik yang tinggi ditemukan pada karakter jumlah buah, bobot buah dan jumlah biji per buah (Karim *et al.*, 2022). Karakter bobot buah per tanaman, jumlah buah, lingkaran buah, panjang buah, dan kandungan kapaicin dijadikan sebagai kriteria seleksi karena memiliki heritabilitas dan kemajuan genetik tinggi (Baruah *et al.*, 2023).

Terdapat tujuh genotipe terpilih berdasarkan hasil LSD 5% dan kluster fuzzy yaitu IG1 21, IG1 111, IG2 25, IG2 30, IG2 101, IG3 238, IG4 140 (Gambar 1). Berdasarkan nilai differensial seleksi, pemilihan genotipe tersebut untuk dilanjutkan ke generasi selanjutnya dapat meningkatkan rata-rata populasi terseleksi pada semua karakter kuantitatif yang

diamati (Tabel 5). Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan analisis dan metode seleksi yang digunakan untuk memilih genotipe, efektif untuk memperbaiki karakter kuantitatif cabai keriting hasil iradiasi sinar gamma. Pengelompokan varietas cabai menggunakan analisis clustergram berdasarkan karakter morfologi dapat dimanfaatkan sebagai

informasi awal pada tahap seleksi dan pemilihan calon tetua persilangan (Prihaningsih dkk., 2023). Analisis cluster berdasarkan sifat morfologi dapat digunakan untuk melihat keragaman genetik pada pengembangan varietas cabai yang memiliki produksi dan kualitas tinggi (Ahmed *et al.*, 2022).

Tabel 5. Differensial seleksi dan kemajuan genetik berdasarkan karakter kuantitatif cabai keriting

Karakter	Rata-rata populasi awal	Rata-rata populasi terseleksi	Differensial seleksi	ΔG (%)	
Tinggi Tanaman	78,91	82,71	4,83	1,36	Rendah
Tinggi Dikotomus	30,94	30,29	-2,11	0,00	Rendah
Diameter Batang	10,11	12,14	20,11	15,41	Tinggi
Panjang Daun	9,38	10,08	7,49	2,01	Rendah
Lebar Daun	3,39	3,63	7,14	15,56	Tinggi
Bobot per buah	6,28	6,57	4,68	20,17	Tinggi
Panjang Buah	15,11	15,27	1,08	26,59	Tinggi
Panjang Tangkai Buah	3,80	3,94	3,60	7,33	Sedang
Diameter Buah	9,33	9,50	1,85	6,14	Sedang
Tebal Daging Buah	1,16	1,19	3,08	12,11	Tinggi
Jumlah Buah per Tanaman	51,13	95,71	87,22	47,58	Tinggi
Bobot Buah per Tanaman	223,88	556,22	148,44	82,32	Tinggi

Keterangan: populasi awal : populasi Mo Iggo; populasi terseleksi : genotipe yang berbeda kelompok dengan Iggo pada analisis klustering fuzzy; ΔG : Kemajuan genetik.

Hasil differensial seleksi menunjukkan bahwa populasi tanaman terpilih mengalami perbaikan karakter kuantitatif kecuali pada karakter tinggi dikotomus. Karakter yang memiliki kemajuan genetik tinggi yaitu diameter tanaman, lebar daun, bobot per buah, panjang buah, tebal daging buah, jumlah buah per tanaman dan bobot buah per tanaman (Tabel 5). Sebagian besar dari karakter tersebut adalah karakter yang dapat memengaruhi produktivitas tanaman. Pada karakter vegetatif kemajuan genetik paling tinggi terjadi pada karakter lebar daun sebesar 15,56% (Tabel 5). Perbaikan pada karakter vegetatif lebar daun menunjukkan respon seleksi yang positif. Tanaman dengan lebar daun yang lebih lebar diharapkan dapat meningkatkan proses fotosintesis yang mendukung efisiensi metabolisme tanaman sehingga dapat meningkatkan produksi buah, sedangkan diameter batang yang lebih besar diharapkan dapat memperbaiki keragaan tanaman menjadi lebih kuat dan tidak mudah roboh. Pada karakter generatif, kemajuan genetik paling tinggi terjadi pada karakter bobot buah per tanaman sebesar 82,32% (Tabel 5). Kemajuan genetik pada karakter bobot buah per tanaman diharapkan dapat

meningkatkan produktivitas tanaman. Kemajuan genetik yang besar pada karakter-karakter tersebut tidak terlepas dari potensi genetik yang dimiliki oleh karakter pada populasi cabai keriting Iggo hasil iradiasi sinar gamma. Karakter lebar daun dan bobot buah per tanaman memiliki keragaman genotipe yang luas dan heritabilitas yang tinggi (Tabel 4) sehingga efek dari seleksi bisa terlihat dampaknya. Kemajuan genetik menggambarkan adanya peningkatan nilai dari karakter yang diseleksi dan besarnya dipengaruhi oleh intensitas seleksi, ragam dan heritabilitas (Hakim dkk., 2024). Pada penelitian ini seleksi dan penentuan parameter genetik masih berdasarkan pada karakter fenotipe, sehingga perlu dilakukan evaluasi dan penilaian ulang untuk melihat kestabilan karakter dan genetik pada generasi berikutnya.

SIMPULAN

Karakter lebar daun, bobot per buah, panjang buah, panjang tangkai buah, tebal daging buah, jumlah buah per tanaman dan bobot buah per tanaman memiliki keragaman fenotipe dan genotipe

luas serta nilai heritabilitas arti luas yang tinggi. Bobot buah per tanaman adalah karakter dengan ragam genetik dan heritabilitas arti luas paling tinggi. Seleksi genotipe menggunakan karakter tersebut juga memiliki nilai differensial seleksi yang positif dan kemajuan genetik yang paling tinggi. Genotipe IG4 140 adalah genotipe yang diarahkan untuk meningkatkan produktivitas melalui peningkatan jumlah buah per tanaman, sedangkan genotipe IG2 101, IG2 30, IG2 25, IG1 21, IG1 111, dan IG3 238 adalah genotipe yang diarahkan untuk meningkatkan produktivitas melalui peningkatan bobot buah per tanaman. Ketujuh genotipe tersebut memiliki karakteristik karakter agronomi yang berbeda dengan tetua Iggo sebagai dampak dari irradiasi sinar gamma, sehingga direkomendasikan untuk dilanjutkan dan dievaluasi fenotipenya pada generasi selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, J, S Jan, W Javid, SA Bhat, and I Tahir. 2023. Assessment on induced genetic variability and divergence in the mutagenised tartary buckwheat populations developed using gamma rays and EMS mutagenesis. *Ecological Genetics and Genomics*. 28: 1–10. DOI: 10.1016/j.egg.2023.100177.
- Ahmed, I, NN Nawab, R Kabir, F Muhammad, A Intikhab, A U Rehman, M Z Farid, G Jellani, S Nadeem, W Quresh, M Ali, M M Hussain, and I Ali. 2022. Genetic diversity for production traits in hot chilli (*Capsicum annum* L.). *Pakistan Journal of Botany*. 54(6): 2157–66. DOI: 10.30848/PJB2022-6(10).
- Ali, S, and TN Suryakant. 2024. Mutation breeding and its importance in modern plant breeding: A review. *Journal of Experimental Agriculture International*. 46(7): 264–75. DOI: 10.9734/jeai/2024/v46i72581.
- Anitha, G, M Shiragur, S Nishani, MBN Naika, BC Patil, and RS Hadlageri. 2021. Genetic variability, heritability and genetic advance for yield and quality traits in M 1 generation of chrysanthemum cultivar Poornima Pink. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 10(1): 1135–1138. DOI: 10.22271/phyto.
- Arrufitasari, PN, GE Fikri, AS Handini, OP Sutanto, dan CSR Hidayatullah. 2025. Profil kandungan capsaicin cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) hasil perlakuan mutagen kimia EMS. *AGRICA: Journal of Sustainable Dryland Agriculture*. 18(1): 139–49. DOI: 10.37478/agr.v18i1.5678.
- Arumingtyas, EL, and AN Ahyar. 2022. Genetic diversity of chili pepper mutant (*Capsicum frutescens* L.) resulted from gamma-ray radiation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 1097. Institute of Physics. 1–11. DOI: 10.1088/1755-1315/1097/1/012059.
- Bado, S, BP Forster, S Nielen, AM Ali, PJJ Lagoda, BJ Till, and M Laimer. 2015. Plant mutation breeding: current progress and future assessment. *Plant Breeding Reviews*. 39(1): 23–88. DOI: 10.1002/9781119107743.ch02.
- Baruah, J, S Munda, N Sarma, T Begum, SK Pandey, SK Chanda, GN Sastry, and M Lal. 2023. Estimation of genetic variation in yield, its contributing characters and capsaicin content of *Capsicum chinense* Jacq. (ghost pepper) germplasm from northeast india. *PeerJ*. 11: 1–22. DOI: 10.7717/peerj.15521.
- Budiyanti, T, Riska, R Kirana, NLP Indriyani, ED Husada, S Wahyuni, I Suliansyah, and D Hervani. 2024. Genetic diversity of local chili (*Capsicum annum* L.) from West Sumatra Indonesia based on inter simple sequences repeat (ISSR) markers. *KnE Social Sciences*. 181–190. DOI: 10.18502/kss.v9i26.17083.
- Fahrudin, DE, dan Slameto. 2024. Pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap hasil dan pertumbuhan cabai merah (*Capsicum annum*). *Agriprima: Journal of Applied Agricultural Science*. 8(1): 24–37. DOI: 10.25047/agriprima.v8i1.539.
- Farabi, MF, S Hafsah, dan Nura. 2023. Peningkatan keragaman genetik cabai tahan terhadap Begomovirus pada beberapa genotipe odeng mutan (M3) melalui iradiasi sinar gamma. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 8(3): 48–54.
- Fehr, W. 1991. *Principles of Cultivar Development: Theory and Technique*. Macmillan Publishing Company. New York.
- Ganapati, RK, RR Karim, K Roy, and RK Rahman. 2015. Variability, heritability and genetic advance of quantitative traits in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) by effect of mutation. *International Journal of Plant Biology*. 3(4): 1046.
- Hakim, A, M Syukur, dan Y Wahyu. 2024. Evaluasi segregan transgresif pada dua populasi cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Vegetalika*. 13(4): 365–382. DOI: 10.22146/veg.93776.

- Hashim, A, MY Rafii, O Yusuff, AR Harun, S Juraimi, A Misran, SC Chukwu, F Arolu, and AI Kadar. 2024. Genetic consequences of chronic gamma irradiation on agro morphological traits in chili under hydrogel enhance media. *Heliyon*. 10(4): e25111. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e25111.
- Joukhadar, R, Y Li, R Thistlethwaite, KL Forrest, JF Tibbits, R Trethowan, and MJ Hayden. 2024. Optimising desired gain indices to maximise selection response. *Frontiers in Plant Science*. 15. DOI: 10.3389/fpls.2024.1337388.
- Karim, KM Rezaul, MY Rafii, A Misran, MF Ismail, AR Harun, R Ridzuan, MFN Chowdhury, M Hosen, O Yusuff, and MA Haque. 2022. Genetic diversity analysis among capsicum annum mutants based on morpho-physiological and yield traits. *Agronomy*. 12(10): 2436. DOI:10.3390/agronomy12102436.
- Kitamura, S, K Satoh, and Y Oono. 2022. Detection and characterization of genome-wide mutations in M1 vegetative cells of gamma-irradiated Arabidopsis. *PLoS Genetics*. 18(1): 1–23 DOI: 10.1371/journal.pgen.1009979.
- Komala, M, KS Lakshmi, and N Madhavi. 2023. Recent advances in crop improvement of chilli (*Capsicum annum* L.) for high fruit yield and quality. *Journal of Experimental Agriculture International*. 45(8): 21–29. DOI: 10.9734/jeai/2023/v45i82151.
- Laskar, RA, and S Khan. 2017. Assessment on induced genetic variability and divergence in the mutagenized lentil populations of microsperma and macrosperma cultivars developed using physical and chemical mutagenesis. *PLoS ONE*. 12(9): 1–18. DOI: 10.1371/journal.pone.0184598.
- Majhi, PK. 2019. Heritability and its genetic worth for plant breeding. Pp. 69-75 *In* *Advances in Genetics and Plant Breeding* (Saidaiyah, P, Ed.). AkiNik Publication. New Delhi.
- Margareta, RMRG, KR Dewandini, N Nabila, dan AN Huda. 2023. Pendugaan parameter genetik dan heritabilitas pada karakter vegetatif cabai rawit generasi pertama (M1) hasil iradiasi sinar gamma. *Jurnal Pertanian Agros*. 25(4): 3658–3664. DOI: 10.37159/jpa.v25i4.3496.
- Markam, D, and D Sharma. 2022. Assessment of genetic variability, heritability and genetic advance for yield and yield attributing traits in chilli (*Capsicum annum* L.). *The Pharma Innovation Journal*. 11(10): 471–74.
- Nugroho, K, Trikoesoemaningtyas, M Syukur, dan P Lestari. 2022. Analisis keragaman genetik karakter morfologi populasi M2 cabai hasil iradiasi sinar gamma. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 49(3): 273–79. DOI: 10.24831/jai.v49i3.38448.
- Prihaningsih, A, RT Terryana, N Azwani, K Nugroho, dan P Lestari. 2023. Analisis keragaman 8 varietas cabai berdasarkan karakter morfologi kualitatif dan kuantitatif. *Vegetalika*. 12(1): 21–35. DOI: 10.22146/veg.76984.
- Riyanto, A, E Oktaviani, NK Wulansari, and TAD Haryanto. 2024. Genetic parameters of yield component and yield in M1 rice (*Oryza Sativa* L.) generation irradiated with gamma-ray. *Kultivasi*. 23(2):1 87–200. DOI: 10.24198/kultivasi.v23i2.55129.
- Rohcahyani, FE, IR Moeljani, dan H Suhardjono. 2022. Induksi mutasi sinar gamma terhadap keragaman genetik dan heritabilitas M1 cabai rawit Prentul Kediri. *Plumula*. 10(2): 91–100. DOI: [10.33005/plumula.v10i2.94](https://doi.org/10.33005/plumula.v10i2.94).
- Roziqoh, W, AY Perdani, Y Wahyuni, dan M Su'udi. 2023. Upaya peningkatan ketahanan cabai merah (*Capsicum annum* L.) terhadap cekaman kekeringan dengan iradiasi gamma. *Jurnal Agrotek Tropika*. 11(4): 547–554. DOI: 10.23960/jat.v11i4.6676.
- Sa'diyah, N, A S Haini, S Ramadiana, dan Rugayah. 2019. Keragaman, heritabilitas, dan kemajuan genetik karakter agronomi cabai merah generasi M3 hasil iradiasi sinar gamma. *Jurnal Agrotek Tropika*. 7(3): 503–510. DOI: [10.23960/jat.v7i3.3555](https://doi.org/10.23960/jat.v7i3.3555).
- Samudin, S, U Made, M Samsudiar, dan V Ferianti. 2022. Analisis keragaman genetik dan heritabilitas beberapa kultivar padi gogo lokal. *Jurnal Agrotech*. 12(2): 53–56. DOI: 10.31970/agrotech.v12i2.92.
- Senolinggi, VWP, MA Nasution, dan A Abri. 2024. Pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman cabai katokkon *Capsicum chinensie* Jacq. *PALLANGGA: Journal of Agriculture Science and Research*. 2(1): 38–45. DOI: 10.56326/pallangga.v2i1.2977.
- Sinha, P, VK Singh, A Bohra, A Kumar, JC Reif, and RK Varshney. 2021. Genomics and breeding innovations for enhancing genetic gain for climate resilience and nutrition traits.

- Theoretical and Applied Genetics. 134(6): 1829–1843. DOI: 10.1007/s00122-021-03847-6.
- Suliantini, NWS, DP Rahayu, dan IGPM Aryana. 2023. Parameter genetik beberapa genotipe mutan padi (*Oryza sativa* L.) galur G10 generasi kedua hasil iradiasi sinar gamma 300 gray. Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan. 9(2): 260–267. DOI: 10.29303/jstl.v9i2.374.
- Swarup, S, EJ Cargill, K Crosby, L Flagel, J Kniskern, and KC Glenn. 2021. Genetic diversity is indispensable for plant breeding to improve crops. Crop Science. 61(2): 839–852. DOI: 10.1002/csc2.20377.
- Syahril, M. 2018. Rancangan bersekat (augmented design) untuk penelitian bidang pemuliaan tanaman. Agrosamudra. 5(1): 63–66.
- Tarigan, R, DS Hanafiah, M Sinuraya, I Manzila, RC Hutabarat, S Barus, AE Marpaung, B Karo, R Kirana, and DS Aryani. 2023. Characterization of gamma ray induced mutations in pepylcv-infecting local pepper in karo regency, Sumatra Utara, Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1183. Institute of Physics. 1–7.
- Terryana, RT, K Nugroho, H Rijzaani, dan P Lestari. 2018. Karakterisasi keragaman genetik 27 genotipe cabai berdasarkan marka SSR (*Simple Sequence Repeat*). Berita Biologi Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati. 17(2): 183–194. DOI: 10.14203/beritabiologi.v17i2.3313.
- Ulinnuha, Z, N Farid, dan I Dinuriah. 2022. Radiosensitivitas dan perkecambahan cabai (*Capsicum chinense*) Orange Chupetinho pada berbagai dosis iradiasi sinar gamma. Prosiding Seminar Nasional LPPM Unsoed XII. Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan. Hlm. 304–308.
- Yali, W, and T Mitiku. 2022. Mutation breeding and its importance in modern plant breeding. Journal of Plant Sciences. 10(2): 64. DOI: 10.11648/j.jps.20221002.13.
- Zafar, SA, M Aslam, M Albaqami, A Ashraf, A Hassan, J Iqbal, A Maqbool, M Naeem, RA Ahyai, and ATK Zuan. 2022. Gamma rays induced genetic variability in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) germplasm. Saudi Journal of Biological Sciences. 29(5): 3300–3307. DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.02.008.