

Keragaan Malai Mutan Padi Generasi M1 Hasil Iradiasi Gamma

Panicle Performance of M1 Mutant Rice Induced by Gamma Irradiation

S. Rahayu^{1*}, V. Destavany², Dasumiati²

¹ Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440, Indonesia

² Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah
Jl. Ir H. Juanda No.95, Kec. Ciputat, Banten 15412, Indonesia

* Email : sherlyrahayu@yahoo.com

ABSTRAK

Pemanfaatan iptek nuklir dalam pemuliaan tanaman di Indonesia telah banyak dirasakan dengan telah dihasilkan beberapa varietas padi dalam kurun waktu empat dekade terakhir. Perubahan keragaan tanaman padi pada generasi awal merupakan akibat dari pengaruh radiasi yang bersifat acak terhadap genetik tanaman. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari keragaan karakter agronomi, khususnya morfologi malai mutan padi pada generasi M1 hasil mutasi induksi pada dosis optimum 200 dan 300 Gy. Penelitian dilakukan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap dengan 3 ulangan, menggunakan jarak tanam 20 cm x 20 cm dengan satu bibit per lubang. Dosis radiasi yang digunakan yaitu 0, 200, dan 300 Gy, menggunakan dua varietas padi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakter malai seperti jumlah malai, jumlah cabang primer, jumlah cabang sekunder, dan jumlah gabah isi mengalami penurunan seiring meningkatnya dosis iradiasi hingga 300 Gy. Hal ini berbanding terbalik dengan karakter jumlah gabah hampa yang semakin meningkat sebagai respon terhadap dosis iradiasi, sedangkan karakter panjang malai tidak mengalami perubahan berarti akibat perlakuan iradiasi gamma pada generasi M1.

Kata kunci: iradiasi gamma, mutasi, padi, karakter malai, generasi M1

ABSTRACT

The application of nuclear science and technology for plant breeding program in Indonesia has been greatly benefited by the released of several rice varieties in the past four decades. Changes in the performance of early generations' rice plants were the result of radiations' random effect on plant genetics. This study aims to investigate the performance of agronomic traits, especially the panicle morphology of rice, in the M1 generation at optimum doses of 200 and 300 Gy resulting from induced mutations. The study was conducted using a Randomized Complete Block Design with 3 replications, using a spacing of 20 cm x 20 cm with one seed per hole. The gamma irradiation doses used were 0, 200, and 300 Gy applied to 2 rice varieties. The results showed that some panicle morphological characters such as panicle number, the number of primary branches, the number of secondary branches, and the number of filled grains decreased with increased of irradiation dose up to 300 Gy. On the other hand, the number of unfilled grain increases due to the high sensitivity response to irradiation, while the panicle length character does not has significant differences due to gamma irradiation in the M1 generation.

Keywords: gamma irradiation, mutation, rice, panicle morphology, M1 generation

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan tingkat konsumsi beras ketiga terbesar di dunia setelah China dan India dengan total konsumsi beras per tahun mencapai 38,24 juta ton [1]. Kebutuhan terhadap beras yang tinggi tersebut dapat dipenuhi dengan salah satunya dihasilkan varietas dengan produksi tinggi. Produksi tinggi pada tanaman padi ditentukan oleh komponen hasil diantaranya adalah jumlah gabah isi. Kepadatan dan arsitektur malai yang baik akan berpengaruh terhadap jumlah gabah isi per malai [2].

Diantara teknik pemuliaan tanaman yang dapat digunakan untuk memperbaiki karakter tanaman seperti arsitektur malai yaitu mutasi induksi. Mutasi merupakan salah satu metode yang telah terbukti dapat meningkatkan keragaman genetik yang dapat diaplikasikan untuk mendukung program pemuliaan tanaman. Pemuliaan mutasi bermanfaat untuk perbaikan beberapa sifat tanaman dengan tidak mengubah sebagian besar sifat tanaman aslinya.

Mutasi dapat dilakukan dengan perlakuan bahan mutagen, baik fisik maupun kimiawi. Mutagen fisik menggunakan radiasi sinar X dan sinar gamma sering digunakan dalam pemuliaan tanaman [3]. Mutasi melalui iradiasi gamma telah memberikan kontribusi nyata terhadap perbaikan tanaman di dunia, lebih dari 3600 varietas yang berasal dari 170 jenis tanaman telah dilepas [4].

Sinar gamma memiliki panjang gelombang yang pendek, yaitu 10-0.01 nm dengan sumber utama iradiasi adalah isotop Cobalt-60. Sumber gamma Cobalt-60 mempunyai dua level energi yakni 1,17 MeV dan 1,33 MeV sehingga mempunyai daya penetrasi yang kuat ke dalam jaringan dan mampu mengionisasi atom-atom dari molekul yang dilewatinya [5].

Perlakuan iradiasi gamma pada tanaman padi mengakibatkan beberapa gen dapat termutasi dalam waktu yang bersamaan karena mutagen yang diperlakukan pada jaringan atau sel akan mengenai sasaran secara acak. Faktor-faktor penyebab rendahnya produksi padi adalah sebagian besar tanaman padi lokal yang dibudidayakan memiliki struktur batang yang tinggi, umur panen panjang, serta peka terhadap hama dan penyakit tanaman. Faktor pembatas tersebut dapat diperbaiki salah satunya melalui pemuliaan mutasi [6].

Keragaman genetik tanaman dapat ditingkatkan melalui iradiasi gamma, tetapi

memerlukan dosis iradiasi yang berbeda-beda untuk setiap tanaman. Satuan dosis iradiasi gamma yang umum digunakan adalah RAD (*radiation absorbed dose*) per detik atau Gray (Gy) per detik, yaitu jumlah dosis terserap per satuan waktu. Herison dkk. menyatakan bahwa dosis iradiasi untuk meningkatkan keragaman tanaman dipengaruhi oleh radiosensitivitas tanaman [7].

Penggunaan teknik mutasi induksi dalam memperbaiki karakter-karakter yang kurang menguntungkan pada tanaman padi telah banyak menghasilkan varietas yang memiliki keunggulan. Hasil penelitian selama lima dekade terakhir menunjukkan bahwa karakter yang telah diperbaiki melalui teknik mutasi induksi yaitu umur genjah, toleransi cekaman suhu rendah dan genangan, bertambahnya jumlah anakan, tahan terhadap blast dan hawar daun, dan peningkatan kualitas gabah dan hasil [7]. Laporan mengenai manfaat induksi mutasi terhadap perbaikan tanaman diantaranya untuk karakter produksi tinggi [8], semi *dwarf* [9], berumur genjah [10], tingginya bobot 1000 butir dan jumlah anakan [8].

Beberapa laporan mengenai dosis optimum untuk menghasilkan keragaman yang tinggi dengan menggunakan radiasi sinar gamma menyatakan bahwa dosis 200 Gy optimum untuk varietas Cisantana [11]. Rahayu melaporkan dosis iradiasi 200 hingga 300 Gy mampu menginduksi mutan pada benih padi IR64 dan Hawara Bunar [12]. Haris dkk. menyatakan bahwa tanaman padi generasi M1 pada dosis 200 dan 300 Gy memiliki hasil berbeda nyata pada karakter umur berbunga, umur panen, jumlah gabah, dan persentase gabah isi [13]. Dosis optimum iradiasi gamma untuk padi beras hitam lokal Sumatera Barat adalah 200-300 Gy [14], padi Sierra Leone berkisar pada 345-423 Gy yang dianalisis berdasarkan persentase perkecambahan [15]. Aplikasi mutagenesis dalam pemuliaan tanaman digunakan sebagai "*forward genetic screen*" dan telah menghasilkan individu mutan terseleksi dengan perbaikan beberapa karakter.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari keragaan karakter malai mutan padi pada generasi M1 hasil mutasi induksi pada dosis 200 dan 300 Gy.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan April sampai dengan Agustus 2019 di Kebun Percobaan Pasar Jumat, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Jakarta.

Metode penelitian

Materi genetik yang digunakan yaitu varietas Mira-1 dan Bestari yang diradiasi dengan dosis 0, 200 dan 300 Gy dengan masing-masing 300 benih per dosis. Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dengan 3 ulangan menggunakan jarak tanam 25 cm x 25 cm dengan satu bibit per lubang dengan plot 1 m x 2 m. Pemupukan dilakukan pada minggu ke-1, 3 dan 7 MST (Minggu Setelah Tanam).

Pemeliharaan dan budidaya dilakukan secara optimal yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan pertumbuhan.

Variabel pengamatan

Variabel pengamatan berupa karakter agronomi dan morfologi padi yang terdiri dari jumlah anakan produktif, panjang malai (cm), jumlah cabang primer per malai, jumlah cabang sekunder per malai, jumlah gabah isi per malai, jumlah gabah hampa per malai, dan persentase gabah isi. Jumlah malai yang diamati yaitu tiga malai per rumpun yang dipilih secara acak, dengan menggunakan sampel sebanyak sepuluh rumpun untuk masing-masing dosis dan varietas.

Analisis data

Analisis data dilakukan menggunakan analisis deskriptif dan uji t-student menggunakan *software* STAR (*Statistical Tool for Agricultural Research*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh perlakuan iradiasi terhadap karakter agronomi pada pasca panen diamati pada dosis 0, 200, dan 300 Gy. Hasil analisis deskriptif menunjukkan bahwa perlakuan iradiasi gamma terhadap padi varietas Mira-1 dan Bestari generasi M1 memberikan perubahan pada karakter agronomi. Perubahan fenotipik tanaman dapat dilihat dari adanya perbedaan hasil pengukuran pada setiap karakter yang diamati. Iradiasi yang dilakukan menyebabkan terjadinya peningkatan atau bahkan penurunan nilai karakter yang diukur secara kuantitatif.

Berdasarkan uji T diketahui bahwa karakter panjang malai tidak dipengaruhi oleh dosis radiasi maupun varietas yang digunakan, hal yang sama terjadi pada karakter jumlah anakan produktif pada varietas Mira dosis 300 Gy dan Bestari dosis 200 Gy, begitu juga dengan karakter jumlah cabang primer pada varietas Bestari dosis 200 Gy. Adapun karakter lain yang diamati sangat dipengaruhi oleh dosis radiasi baik pada dosis 200 maupun 300 Gy pada varietas Mira dan Bestari (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai T hitung pada karakter yang diamati pada varietas Mira dan Bestari pada dosis 200 dan 300 Gy

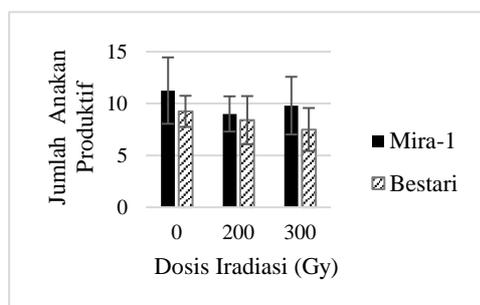
Karakter	Mira		Bestari	
	200 Gy	300 Gy	200 Gy	300 Gy
Jumlah Anakan Produktif	-4,19	-1,65 ^{tn}	-1,16 ^{tn}	-2,67
Panjang Malai	-0,27 ^{tn}	-2,27	-1,73 ^{tn}	-0,21 ^{tn}
Jumlah Cabang Primer	-2,65	-3,35	-0,72 ^{tn}	-4,37
Jumlah Cabang Sekunder	-2,80	-6,42	-6,20	-15,64
Jumlah Gabah Isi	-7,56	-13,52	-7,29	-11,67
Jumlah Gabah Hampa	6,55	9,42	5,84	9,95
Persentase Gabah Isi	-7,49	-10,93	-5,50	-9,14
Nilai T Tabel	1,83			
Selang kepercayaan	0,05			

Karakter jumlah anakan produktif per rumpun

Jumlah malai yang dihasilkan per rumpun tanaman tertinggi terdapat pada varietas Mira-1 yaitu pada dosis 0 Gy (pembanding) sebanyak 16 malai sedangkan jumlah malai tertinggi pada varietas Bestari terdapat pada dosis 200 Gy sebanyak 13 malai. Perlakuan iradiasi gamma menyebabkan penurunan rata-rata jumlah malai pada dosis 200 Gy dan 300 Gy (Gambar 1). Jumlah malai terendah pada kedua varietas terdapat pada dosis 300 Gy. Hal yang sama dilaporkan oleh Yunus dkk. dimana dengan dosis 300 Gy dapat menghasilkan jumlah malai per rumpun terendah pada padi Mentik Wangi. Jumlah malai per rumpun dihasilkan dari anakan yang produktif, karakter agronomi ini merupakan salah satu karakter penting untuk mengetahui produktivitas tanaman padi [16]. Aryana dkk. menyatakan bahwa peningkatan produktivitas tanaman padi berhubungan dengan banyaknya anakan produktif karena anakan secara langsung menghasilkan malai padi [17].

Menurut Sembiring dkk., jumlah anakan produktif dikategorikan menjadi tiga kelompok, yaitu: sedikit (1-10), sedang (10-15) dan banyak (>15) [18].

Rata-rata jumlah anakan produktif pada kedua varietas berjumlah <10 sehingga dapat dikategorikan dalam kelompok sedikit, kecuali pada varietas Mira-1 dosis 0 Gy dengan rata-rata sebanyak 11,25 anakan produktif. Dosis radiasi rendah (50-100 Gy) dapat memicu adanya mutasi klorofil, sedangkan dosis yang dapat menghasilkan keragaman morfologi pada tanaman padi yaitu dosis 200 dan 300 Gy. Jumlah malai per rumpun yang dihasilkan anakan produktif merupakan salah satu komponen hasil pada tanaman padi.

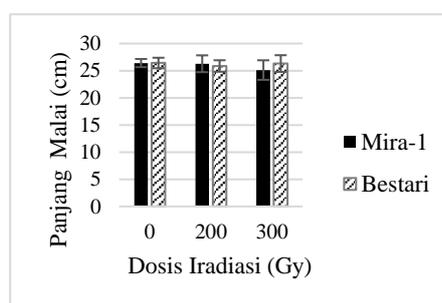


Gambar 1. Rata-rata jumlah malai per rumpun padi varietas Mira-1 dan Bestari generasi M1 akibat perlakuan iradiasi pada dosis 0, 200 dan 300 Gy

Karakter panjang malai

Malai terpanjang varietas Mira (29,83 cm) diperoleh dari hasil radiasi dosis 300 Gy, sedangkan pada varietas Bestari (28 cm) diperoleh dari hasil radiasi dosis 200 Gy sebesar 28 cm (Data tidak ditampilkan). Hal yang sama dilaporkan oleh Gowthami dkk. bahwa panjang malai tertinggi pada varietas ADT 37 berada pada dosis 300 Gy [19]. Panjang malai merupakan karakter yang juga menentukan tinggi rendahnya produktivitas suatu varietas, karena pada percabangan malai akan tersebar gabah isi maupun gabah hampa. Yunus dkk. menyatakan bahwa panjang malai dapat mempengaruhi produktivitas suatu tanaman padi baik dari jumlah gabah isi maupun gabah hampa [16].

Sembiring dkk. melaporkan bahwa panjang malai dapat dikategorikan berdasarkan ukurannya yaitu malai pendek (<20 cm), malai sedang (20-30 cm) dan malai panjang (>30 cm) [18]. Rata-rata panjang malai varietas Mira-1 dan Bestari pada seluruh perlakuan iradiasi adalah bla bla., sehingga dapat dikategorikan ke dalam malai berukuran sedang (Gambar 2).

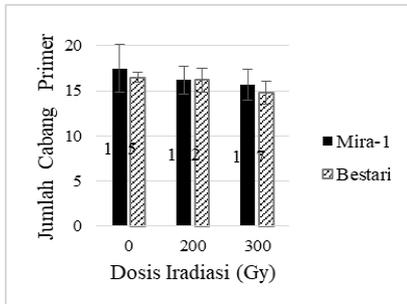


Gambar 2. Rata-rata panjang malai padi varietas Mira-1 dan Bestari generasi M1 akibat perlakuan iradiasi pada dosis 0, 200 dan 300 Gy

Karakter Jumlah Cabang Primer Malai

Percabangan malai padi tersusun atas cabang primer, cabang sekunder dan cabang tersier. Jumlah cabang primer malai tertinggi pada varietas Mira-1 terdapat pada dosis 0 Gy sebanyak 21 cabang primer, sedangkan pada varietas Bestari terdapat pada dosis 200 Gy sebanyak 19 cabang primer (data tidak ditampilkan). Perlakuan iradiasi gamma menyebabkan rata-rata jumlah cabang primer menurun (Gambar 3). Hal yang sama dilaporkan oleh Degwy yang menyatakan bahwa jumlah cabang malai menurun seiring dengan meningkatnya dosis iradiasi [20]. Jumlah cabang pada malai dapat menentukan jumlah biji sehingga secara tidak langsung berpengaruh terhadap hasil.

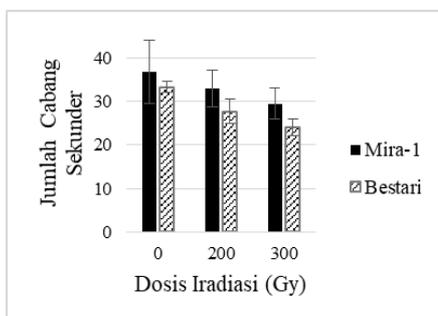
Hal ini dinyatakan oleh Ramadhan bahwa jumlah cabang primer dan jumlah cabang sekunder berkorelasi erat terhadap jumlah gabah per malai pada tanaman padi [21].



Gambar 3. Rata-rata jumlah cabang primer per malai pada varietas Mira-1 dan Bestari generasi M1 akibat perlakuan iradiasi pada dosis 0, 200 dan 300 Gy.

Karakter jumlah cabang sekunder

Jumlah cabang sekunder tertinggi pada kedua varietas terdapat pada dosis 0 Gy yaitu sebanyak 47 cabang primer per malai pada varietas Mira-1 dan 35 cabang sekunder pada varietas Bestari (Gambar 4). Perlakuan iradiasi gamma menyebabkan rata-rata jumlah cabang sekunder menurun. Rahayu dkk. melaporkan bahwa karakter jumlah cabang primer dan sekunder merupakan karakter malai dengan nilai heritabilitas yang tinggi, sehingga karakter ini perlu dianalisis karena diindikasikan akan diwariskan pada generasi berikutnya [22]. Karakter yang memiliki nilai heritabilitas tinggi ini memiliki pengaruh genetik yang lebih kuat dibandingkan pengaruh lingkungannya. Penampilan karakter ini pada generasi berikutnya akan menjadi menarik dipelajari untuk melihat pengaruh radiasi pada karakter morfologi malai dan pewarisannya.

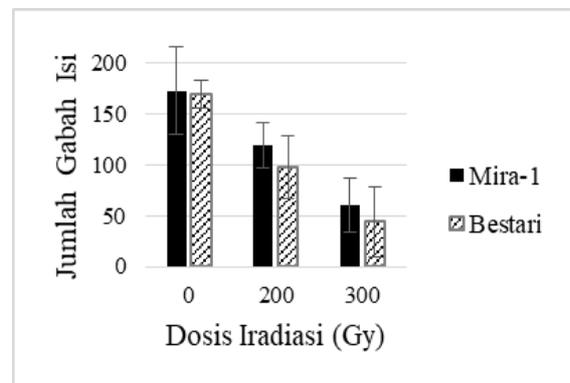


Gambar 4. Rata-rata jumlah cabang sekunder per malai padi varietas Mira-1 dan Bestari generasi M1 pada dosis 0, 200 dan 300 Gy

Karakter jumlah gabah isi

Jumlah gabah yang dihasilkan merupakan komponen hasil pada tanaman padi. Pada kedua varietas, perlakuan iradiasi dosis 0 Gy memiliki rata-rata jumlah gabah isi tertinggi (Gambar 5). Perlakuan iradiasi menyebabkan menurunnya jumlah gabah isi. Hal yang sama dilaporkan pada penelitian Warman dkk. pada tanaman padi beras hitam lokal Sumatera Barat bahwa jumlah gabah hampa meningkat seiring dengan meningkatnya dosis iradiasi [13]. Sterilitas yang terjadi pada generasi M1 disebabkan oleh kerusakan fisiologi dan tidak akan dipindahkan ke generasi M2.

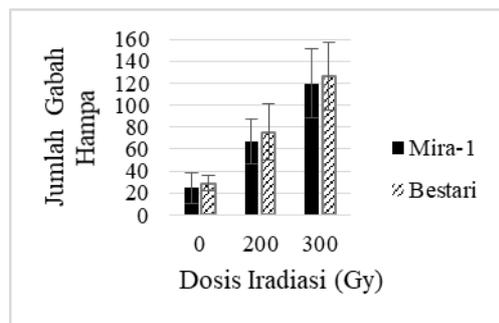
Perlakuan iradiasi mempengaruhi proses pengisian pati pada gabah melalui proses fotosintesis untuk menghasilkan fotosintat dalam kadar tinggi. Aryana dkk. [16] menyatakan bahwa proses translokasi karbohidrat dari organ vegetatif ke malai selama periode pengisian gabah isi mempengaruhi tingkat kehampaan gabah. Semakin tinggi jumlah gabah isi pada malai maka semakin tinggi produktivitas tanaman, dan semakin tinggi jumlah gabah hampa maka semakin rendah produktivitas tanaman [17].



Gambar 5. Rata-rata jumlah gabah isi padi varietas Mira-1 dan Bestari generasi M1 akibat perlakuan iradiasi pada dosis 0, 200 dan 300 Gy

Karakter Jumlah Gabah Hampa

Semakin meningkat dosis iradiasi gamma akan meningkatkan jumlah gabah hampa (Gambar 6). Aryana dkk. menyatakan bahwa untuk dapat meningkatkan hasil padi dibutuhkan tetua yang memiliki karakter jumlah gabah isi yang banyak [16]. Jumlah gabah isi per malai untuk karakter padi tipe ideal berkisar antara 180-240 butir dengan gabah isinya lebih dari 85%.



Gambar 6. Rata-rata jumlah gabah hampa padi varietas Mira-1 dan Bestari generasi M1 akibat perlakuan iradiasi pada dosis 0, 200 dan 300 Gy

Mutagen akan menyebabkan berkurangnya kemampuan reproduktif tanaman dan dapat meningkatkan jumlah gabah yang hampa lebih besar dibandingkan dengan pengaruh lingkungan. Berkurangnya jumlah gabah yang fertile disebabkan salah satunya oleh aberasi kromosom. Peningkatan dosis menyebabkan semakin tingginya jumlah gabah hampa. Penggunaan mutagen dalam pemuliaan mutasi tidak hanya untuk efektifitas mutasi, namun juga efisiensi mutagenik dimana perubahan tidak dapat diprediksi, seperti sterilitas, kematian, dan kerusakan.

KESIMPULAN

Perlakuan iradiasi gamma memberikan perubahan berupa penurunan maupun peningkatan nilai karakter morfologi malai mutan padi varietas Mira-1 dan Bestari generasi M1. Penurunan nilai terjadi pada hampir semua karakter malai yang diamati kecuali karakter jumlah gabah hampa yang meningkat seiring dengan meningkatnya dosis iradiasi. Informasi mengenai keragaan karakter ini diperlukan sebagai panduan awal dalam pemuliaan mutasi. Hal ini terkait dengan tahapan yang akan dilakukan selanjutnya yang membutuhkan jumlah gabah isi yang banyak

untuk ditanam digenerasi M2 pada proses seleksi karakter yang diinginkan. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa dosis iradasi yang semakin tinggi akan meningkatkan kerusakan yang terjadi pada tanaman padi, khususnya karakter malai padi. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjutan untuk mendapatkan dosis iradasi optimum sehingga diperoleh keragaan karakter agronomi dan morfologi tanaman pada Mira dan Bestari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, "Outlook komoditas pertanian padi", Jakarta: Kementerian Pertanian, 2016.
- [2] S. Rahayu, W. B. Suwarno, M. Ghulamahdi, dkk., "Morfologi malai padi (*Oryza sativa* L.) pada beragam aplikasi pupuk nitrogen", *Jurnal Agronomi Indonesia*, 46 (2), pp. 145-152, 2018.
- [3] R.N. Yunita, Khumaida, D. Sopandie, I. Mariska, "Pengaruh iradiasi gamma terhadap pertumbuhan dan regenerasi kalus padi varietas Ciherang dan Inpari 13", *Jurnal AgroBiogen.*, 10(3), pp. 101-108, 2014.
- [4] N. Bermawie, N.L. W. Meilawati, S. Purwiyanti, dkk., "Pengaruh iradiasi gamma (^{60}Co) terhadap pertumbuhan dan produksi jahe putih kecil (*Zingiber officinale* var. *amarum*)", *Jurnal Litri* 21(2), pp. 47-56, 2015.
- [5] L.V. Crowder, "Genetika tumbuhan", Yogyakarta: Gajah Mada University Press, 2006.
- [6] A. Sharma, S.K. Sing. "Induced mutation - a tool for creation of genetic variability in rice (*Oryza sativa* L.)", *Journal of Crop and Weed*, 9(1), pp. 132-138, 2013.
- [7] C. Herison, Rustikawati, H.S. Sujono, I.A. Syarifah, "Induksi mutasi melalui iradiasi gamma terhadap benih untuk meningkatkan keragaman populasi dasar jagung (*Zea mays* L.)", *Jurnal Akta Agrosia*, 11(1), pp.57-62, 2008.
- [8] A. Babaei, G.A. Nematzadeh, V. Avagyan, et al., "Radio sensitivity studies of morpho-

- physiological characteristics in some Iranian rice varieties (*Oryza sativa* L.) in M1 Generation”, *African J. Agril. Res*, vol. 5, pp. 2124-30, 2010.
- [9] C.R.A. Kumar, “Stable Dwarf mutants of a High Quality tall rice variety white ponni” *Mutation Breeding Newsletter and Reviews*. vol. 1, pp.15-16, 2005.
- [10] M. Minn, A.A. Khai, K.M. Lwin. “Study on The effect of gamma radiation on rice Sin Thwe Latt (IR 53936)”, *GMSARN Proc. Int. Conf. on Sust. Dev.: Issues and Prospects for the GMS*. 12-14 Nov. pp.1-5., 2008.
- [11] Mugiono, L. Harsanti, A.K. Dewi, “Perbaikan padi varietas Cisantana dengan mutasi induksi” *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop Dan Radiasi*, 5(2), pp.194-210, 2009.
- [12] Y. Rahayu, “Induksi mutasi dengan radiasi sinar gamma pada padi (*Oryza sativa* L.) sensitif dan toleran aluminium“, *Pascasarjana Tesis*, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2009.
- [13] A. Haris, Elkawakib, Kaimuddin, Syatrianty. “Short mutant characters and early maturing of M2 generation of local rice as upon gamma radiation”, *Intl J of Curt Res in Biosciences and Plant Bio*, 2(9), pp.124-130, 2015.
- [14] B. Arman, Sobrizal, I. Suliansyah, E. Swasti, E., dan A. Syarif, “Perbaikan genetik kultivar padi beras hitam lokal Sumatera Barat melalui mutasi induksi”, *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 11(2), pp.125-135, 2015.
- [15] S.S Harding, S.D. Johnson, D.R. Taylor, *et al.*, “Effect of gamma rays on seed germination, seedling height, survival percentage and tiller production in some rice varieties cultivated in Sierra Leone”, *American J of Exp Agriculture*, 2(22), pp.247-255, 2012.
- [16] A. Yunus, Parjanto, Nandariyah, S. Wulandari, “Performance of Mentik Wangi Rice (*Oryza sativa* L.) M2 generation from gamma ray irradiation”, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 142(1), pp.1-8, 2018.
- [17] I.G. Aryana, A.A.K. Sudarwaman, B.B. Santoso, “Keragaman F1 dan heterosis karakter agronomis pada beberapa persilangan padi beras merah”, *J. Agron. Indonesia*, 45(3), pp.221-227, 2017.
- [18] J. H. Sembiring, N. Basuki, dan A. Seogianto, A. “Pengaruh iradiasi gamma terhadap perubahan fenotipik tanaman padi gogo (*Oryza sativa* L.)”, *Jurnal Produksi Tanaman*, 4(7), pp.585-594, 2016.
- [19] R.C. Gowthami, Vanniarajan, J. Souframanien, M. A. Pillai. “Effect of gamma rays and electron beam on various quantitative traits of rice (*Oryza sativa* L.) in M1 generation”, *Advances in Life Sci*, 5(5), pp.1876-1872, 2016.
- [20] IS. El-Degwy, “Mutation induced genetic variability in rice (*Oryza sativa* L.)”, *Intl J of Agri and Crop Sci*, 5 (23), pp.2789-2794, 2013.
- [21] F. Ramadhan, “Analisis genetik arsitektur malai padi (*Oryza sativa* L.)”, *Pascasarjana Tesis*, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2017.
- [22] S. Rahayu, W. B. Suwarno, M. Ghulamahdi, H. Aswidinnoor, “Analysis of panicle morphology traits in F2 and reciprocal F2 populations of rice (*Oryza sativa* L.)”, *SABRAO Journal of Breeding & Genetics*. vol. 50 (1), pp. 9-24, 2018.

