

Radiosensitivitas dan Pengaruh Dosis Radiasi Gamma terhadap Pertumbuhan Rosella Merah (*Hibiscus sabdariffa*)

Radiosensitivity and Effect of Gamma Radiation Dose on Growth of Red Roselle (*Hibiscus sabdariffa*)

H. Gustia*, Y.A. Wulandari

Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jl. K.H. Achmad Dahlan, Kec. Ciputat Timur Kota Tangerang Selatan, Jakarta
*E-mail : helfi_umj@yahoo.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki keanekaragaman hayati tinggi terutama tumbuhan berkhasiat obat, salah satunya tanaman rosella. Peningkatan keragaman sumberdaya genetik merupakan dasar yang penting dalam program pemuliaan tanaman rosella. Penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui dosis radiosensitivitas rosella. Penelitian dilakukan pada bulan Maret – Agustus 2020 di Kebun Percobaan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Jakarta (UMJ). Induksi mutasi rosella dilaksanakan di Organisasi Riset Tenaga Nuklir– Badan Riset dan Inovasi Nasional (ORTN-BRIN) Jakarta Selatan. Penelitian dilaksanakan dengan meradiasi benih rosella merah menggunakan sumber iradiasi gamma Co-60 dari iradiator Gamma Chamber 4000A dengan dosis 0, 300, 400, 500, 600, 700, dan 800 Gy dengan setiap dosis terdiri dari 25 benih. Penelitian menggunakan Rancangan Kelompok Lengkap Teracak (RKLK), setiap perlakuan diulang empat kali. Pengamatan dilakukan terhadap karakter kualitatif dan kuantitatif. Karakter kualitatif meliputi perubahan warna, bentuk batang, daun, bunga serta biji rosella, dan hanya karakter yang mengalami perbedaan dengan tanaman kontrol yang akan dilaporkan. Karakter kuantitatif meliputi tinggi tanaman, jumlah cabang, lebar tajuk, umur berbunga, umur panen, periode panen, berat bunga basah, berat bunga kering, dan jumlah biji/bunga. Data yang diperoleh dianalisis ragam fenotip dan uji lanjut *Honestly Significant Difference* (HSD) pada taraf 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai LD₅₀ tanaman rosella merah adalah 688,10 Gy. Iradiasi pada dosis 700 dan 800 Gy dihasilkan tanaman dengan tipe pertumbuhan determinate, terjadi perubahan bentuk daun dengan warna hijau muda, batang merah muda dan bunga yang hanya muncul pada titik tumbuh. Iradiasi berpengaruh sangat nyata terhadap pertumbuhan dan produksi rosella merah.

Kata kunci: Iradiasi sinar gamma, LD₅₀, mutasi, produksi, rosella merah

ABSTRACT

Indonesia is a tropical country that has high biodiversity, especially medicinal plants, one of which is rosella. Increasing the diversity of genetic resources is an important basis in the rosella plant breeding program, one of which is through induced mutations. This research was conducted to determine the dose of radiosensitivity and the growth and production of red rosella. The research was conducted in March - August 2020 at the Agrotechnology Experimental station, Faculty of Agriculture, Muhammadiyah Jakarta University. Induction of roselle mutations was carried out at Nuclear Power Research Organization – National Research and Innovation Agency (ORTN-BRIN), South Jakarta. The experiment was carried out by irradiating red rosella seeds using a Co-60 gamma irradiation source from the Gamma Chamber 4000A irradiator with doses of 0, 300, 400, 500, 600, 700 and 800 Gy with each dose consisting of 25 seeds. The study used a Randomized Complete Block Design (RCBD), each treatment was repeated four times. Observations were made on qualitative and quantitative characters. Qualitative characters include changes in the color and shape of roselle stems, leaves, flowers, and seeds, and only characters that experience differences with control plants will be reported. Quantitative characters include plant height, number of branches, crown width, flowering age, harvest age, harvest period, wet flower weight, dry flower weight, and number of seeds/flowers. The data obtained analyzed for various phenotypes and the *Honestly Significant Difference* (HSD) further test at the 5% level. The results showed that the LD₅₀ value of red rosella plants was 688,10 Gy. Irradiation at doses of 700 and 800 Gy resulted in plants with determinate growth type, these plants have different shape and color (lighter green) of the leaves, pink colored stems, and flowers that only appeared at the growing point. Irradiation has a very significant effect on the growth and production of red rosella.

Keywords: Gamma ray irradiation, LD₅₀, mutation, production, red rosella

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki keanekaragaman hayati tinggi terutama tumbuhan berkhasiat obat. Terdapat 1000 dari 30000 jenis tumbuhan diketahui dapat dimanfaatkan untuk pengobatan [1]. Rosella (*Hibiscus sabdariffa*) merupakan salah satu tanaman herbal yang memiliki banyak manfaat dalam mengatasi berbagai penyakit dan masalah kesehatan [2].

Penggunaan rosella di bidang kesehatan khususnya di Indonesia memang belum begitu populer, namun di negara-negara lain pemanfaatan rosella di dalam bidang pengobatan sudah tidak asing lagi. Rosella di Nigeria dimanfaatkan sebagai tanaman obat yang dipercaya dapat menurunkan tekanan darah, antiseptik, diuretik, hipoglikemik, pencahar, mencegah pembentukan batu ginjal, antihelmintik, mengatasi batuk, anti bakteri, dan di Thailand teh rosella dipercaya dapat menurunkan kolesterol [3], [4].

Sumber daya genetik rosella merupakan bahan dasar yang penting dalam program pemuliaan tanaman. Rosella merupakan tanaman menyerbuk sendiri, genotipe yang terbentuk homozigot dimana keragamannya tidak seberagam tanaman menyerbuk silang, sehingga perlu dilakukan upaya untuk peningkatan keragaman. Mutasi induksi dengan iradiasi sinar gamma telah banyak digunakan pada tanaman. Proses ini dapat menginduksi perubahan morfologi pada jaringan tanaman, serta beragam respon biokimia pada level seluler. Selain itu, dapat membentuk mutan baru yang memiliki potensi produktivitas, kandungan metabolit yang lebih tinggi, dan mengembangkan varietas dengan karakter ekonomi maupun agronomi yang lebih baik [5].

Mutasi dapat menyebabkan perubahan sifat-sifat genetik yang dapat diwariskan [6]. Induksi mutasi dengan iradiasi sinar gamma dilaporkan dapat meningkatkan keragaman pada tanaman jahe [7], kunyit [8], okra [9], kecombrang [10], jengger ayam [11], torbangun [12]. Mutasi induksi dengan iradiasi sinar gamma pada rosella diharapkan dapat menghasilkan genotipe rosella potensial yang dapat dimanfaatkan dalam program pemuliaan untuk menghasilkan varietas unggul baru rosella.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret - Agustus 2020 di Kebun Percobaan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Jakarta yang berada pada ketinggian 25 m dpl [13]. Induksi mutasi benih rosella merah dilaksanakan di Organisasi Riset Tenaga Nuklir-Badan Riset dan Inovasi Nasional (ORTN-BRIN), Jakarta Selatan.

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi materi genetik benih rosella merah varietas Roselindo 1, pupuk NPK, pupuk kandang sapi, Furadan 3G®, pestisida, media tanam dan tray semai. Alat yang digunakan meliputi cangkul, koret, *gamma chamber*, timbangan digital, alat ukur dan alat tulis.

Perlakuan iradiasi

Pada penelitian 2020, dilaporkan bahwa nilai LD₅₀ tanaman okra merah adalah 574,08 Gy [14]. Iradiasi benih rosella merah menggunakan iradiator Gamma Chamber 4000 A pada dosis 0, 400, 500, 600, 700, dan 800 Gy di ORTN-BRIN. Masing-masing dosis terdiri dari 25 benih sehingga total terdapat 150 benih. Benih yang sudah diradiasi kemudian ditanam pada tray semai.

Metode penelitian

Penelitian menggunakan Rancangan Kelompok Lengkap Teracak (RKLT). Setiap perlakuan diulang empat kali. Model rancangan RKLT faktor tunggal yang digunakan adalah [15]:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

keterangan:

Y_{ij} : respon tanaman terhadap dosis iradiasi ke- i dan ulangan ke- j ,

μ : Nilai tengah populasi,

τ_i : pengaruh iradiasi ke- i ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$),

β_j : pengaruh ulangan ke- j ($j = 1, 2, 3, 4$),

ϵ_{ij} : pengaruh galat percobaan genotype ke- i dan ulangan ke- j

Tanaman yang hidup, setelah berumur 2 minggu setelah semai (mss) dipindahkan ke lapang dengan jarak tanam 20 cm x 50 cm. Pemeliharaan tanaman meliputi pemupukan, penyiraman dan pengendalian organism pengganggu tanaman. Pemupukan dilakukan dengan pemberian pupuk kandang sapi dengan dosis 20 ton/Ha dan NPK dengan dosis 40 g/tanaman. Pupuk kandang sapi diberikan satu

minggu sebelum tanam dan pupuk NPK diberikan pada saat tanaman berumur 2 mst, 6 mst, 10 mst dan 14 mst. Penyiraman dan pengendalian organisme pengganggu tanaman dilakukan sesuai dengan keadaan di lapang.

Variabel pengamatan

Pengamatan dilakukan terhadap karakter kualitatif dan kuantitatif. Karakter kualitatif diamati pada semua tanaman hasil iradiasi dan kontrol (0 Gy). Hasil pengamatan karakter kualitatif tanaman hasil iradiasi dibandingkan dengan tanaman kontrol. Karakter kualitatif yang diamati meliputi karakter bentuk dan warna pada batang, daun, bunga, dan biji. Hanya karakter yang berbeda dengan tanaman kontrol yang akan dilaporkan. Karakter kuantitatif yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah cabang, lebar tajuk, dan umur berbunga diamati saat tanaman berbunga. Umur panen dihitung pada saat panen pertama, periode panen dihitung sejak panen pertama sampai panen terakhir. Berat bunga basah ditimbang setelah dipanen, berat bunga kering ditimbang setelah bunga dikeringkan dan jumlah biji/bunga dihitung setelah biji kering.

Analisis data

Penentuan dosis LD_{50} dilakukan menggunakan metode *Best Curve Fit Analyze* dengan menghitung jumlah rasio tanaman yang hidup terhadap total tanaman pada saat tanaman berumur 2 mss kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak *Curve Expert pro*. Data kuantitatif yang diperoleh dianalisis ragam dan uji lanjut *Honestly Significant Difference* (HSD) pada taraf 5 %.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persentase hidup tanaman rosella yang disajikan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa benih yang diradiasi sinar gamma mengalami penurunan persentase hidup seiring dengan meningkatnya dosis iradiasi. Hasil ini diduga tingginya dosis iradiasi dapat mengganggu perkecambahan benih. Penurunan kemampuan berkecambah pada tanaman hasil radiasi karena terjadinya penurunan dan terhambatnya pembentukan auksin, aberasi kromosom, serta menurunnya mekanisme asimilasi yang disebabkan oleh pengaruh iradiasi sinar pengion [16].

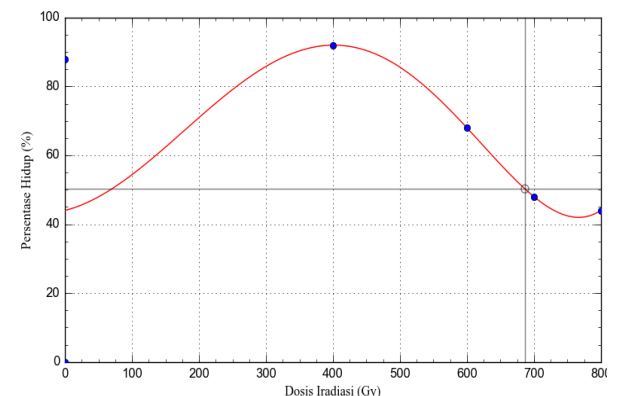
Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya, bahwa benih kacang tunggak yang diradiasi mempunyai daya hidup yang lebih

rendah dibandingkan dengan benih yang tidak diradiasi [17]. Iradiasi dosis tinggi dapat mengurangi perkecambahan benih [18]. Kematian sel tanaman disebabkan oleh interaksi sinar gamma dengan molekul dalam sel, terutama air, yang menghasilkan radikal bebas berupa H atau OH [19].

Tabel 1. Persentase hidup rosella merah

Dosis (Gy)	Persentase Hidup (%)
0	100
400	92
500	88
600	68
700	48
800	44

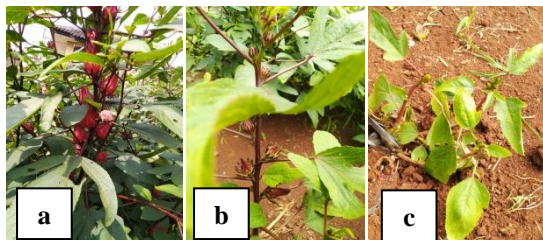
Uji radiosensitivitas dilakukan untuk menghasilkan nilai LD_{50} . Hasil analisis *curve fit* pada tanaman rosella merah menunjukkan bahwa model terbaik untuk mewakili persentase hidup adalah *Polynomial Regression* dengan persamaan $Y = 4,40 + 4,87867x + 6,55159x^2$. Berdasarkan persamaan tersebut dihasilkan nilai LD_{50} rosella merah adalah 688,10 Gy (Gambar 1).



Gambar 1. Pengaruh dosis iradiasi sinar gamma terhadap persentase hidup rosella merah

Induksi mutasi iradiasi sinar gamma dapat berpengaruh pada karakter kualitatif tanaman. Rosella merupakan tanaman tegak perdu, berdaun hijau, batang, bunga berwarna merah, peletakan bunga berada di setiap ketiak daun, dan tipe pertumbuhan indeterminate (Gambar 2a). Induksi mutasi iradiasi sinar gamma pada dosis 600 Gy menghasilkan tanaman dengan warna daun hijau muda kekuningan, warna batang varigata dengan batang muda berwarna merah kombinasi hijau, dan warna bunga varigata merah hijau (Gambar 2b). Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa induksi mutasi dengan iradiasi sinar gamma dapat mengakibatkan

perubahan warna serta bentuk daun dan bunga [20]. Perubahan warna daun disebabkan karena gangguan fisiologi pada saat sintesis klorofil [21].



Gambar 2. Perbedaan tanaman kontrol (a) dengan mutan putatif rosella merah generasi M1 (b dan c)

Pada dosis 700 dan 800 Gy dihasilkan tanaman dengan tipe pertumbuhan *determinate*, terjadi perubahan bentuk daun dengan warna hijau muda, batang merah muda, dan bunga yang hanya muncul pada titik tumbuh (Gambar 2c). Hasil ini sejalan dengan Wulandari dkk. yang menghasilkan 12 mutan *putative* kacang tunggak dengan tipe tumbuh *determinate* [22]. Perubahan bentuk daun akibat iradiasi sinar gamma diduga karena berkembangnya sel mutan abnormalitas menjadi jaringan dan organ yang berbeda dari sel induknya [23].

Pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap rosella merah dapat dilihat pada fase vegetatif tanaman meliputi tinggi tanaman, lebar tajuk, dan jumlah cabang. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa iradiasi sinar gamma berpengaruh sangat nyata terhadap tinggi tanaman, lebar tajuk, dan jumlah cabang rosella.

Tabel 2. Pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap tinggi tanaman, lebar tajuk dan jumlah cabang rosella merah

Dosis (Gy)	Tinggi Tanaman (cm)	Lebar Tajuk (cm)	Jumlah Cabang
0	55,19 a	73,63 a	11,25 a
400	34,58 b	45,59 b	5,41 b
500	38,76 b	46,78 b	5,56 b
600	21,38 c	27,63 c	5,00 b
700	13,18 d	16,68 c	4,33 c
800	10,00 d	15,00 c	3,50 c

Keterangan:

nilai yang diikuti huruf yang sama pada kolom rerata pada setiap karakter tidak berbeda nyata berdasarkan uji HSD pada taraf 5%

Tabel 2 menunjukkan bahwa tinggi tanaman tertinggi dihasilkan pada dosis 0 Gy yaitu 55,19 cm dan berbeda nyata dengan dosis lain.

Tinggi tanaman terendah dihasilkan pada dosis 800 Gy yaitu 10,00 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa secara umum semakin tinggi dosis iradiasi maka tinggi tanaman semakin rendah. Semakin tinggi dosis iradiasi, tanaman menjadi lebih pendek dan berbeda nyata dengan kontrol [24]. Lebar tajuk terlebar dihasilkan pada dosis 0 Gy yaitu 73,63 cm dan berbeda nyata dengan perlakuan lain. Lebar tajuk tersempit dihasilkan pada dosis 800 Gy yaitu 15,00 cm dan tidak berbeda nyata dengan dosis 700 dan 600 Gy. Jumlah cabang terbanyak dihasilkan pada perlakuan 0 Gy yaitu 11,25 cabang dan berbeda nyata dengan dosis lain. Jumlah cabang paling sedikit dihasilkan pada dosis 800 Gy yaitu 3,50 cabang dan tidak berbeda nyata dengan dosis 700 Gy (Tabel 2). Hasil ini sejalan dengan Sawangmee dkk. yang melaporkan bahwa terjadi pengurangan jumlah cabang pada tanaman *torenia* yang diradiasi dengan dosis yang lebih dari 50 Gy [25].

Ramesh dkk. menyatakan bahwa terhambatnya pertumbuhan tanaman hasil iradiasi disebabkan oleh kerusakan sel dan kromosom yang berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi mutagen [26]. Sistem enzim yang menginduksi pembentukan auksin endogen juga dapat terganggu akibat efek mutagen sehingga pertumbuhan jaringan meristem menjadi terhambat [27].

Pengaruh iradiasi sinar gamma juga dapat dilihat pada fase generatif tanaman meliputi umur berbunga, umur panen, periode panen, berat basah, berat kering dan jumlah biji/bunga rosella. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa iradiasi sinar gamma berpengaruh sangat nyata terhadap umur berbunga, umur panen dan periode panen rosella.

Tabel 3 menunjukkan bahwa umur berbunga paling cepat dihasilkan pada dosis 0 Gy yaitu 39,5 hst dan tidak berbeda nyata dengan dosis 400 dan 600 Gy. Umur berbunga paling lama dihasilkan pada dosis 800 Gy yaitu 42,8 hari dan berbeda nyata dengan dosis 700 Gy. Umur panen paling cepat dihasilkan pada dosis 0 Gy yaitu 90,0 hst dan tidak berbeda nyata dengan dosis 400 Gy tetapi berbeda nyata dengan dosis lain. Keterlambatan waktu berbunga dan waktu panen diduga karena gangguan fisiologis. Anggraito dan Pukan menyatakan bahwa gangguan keterlambatan munculnya bunga diduga karena adanya gangguan pada system enzim atau organel [28].

Tabel 3. Pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap umur berbunga, umur panen dan periode panen rosella merah

Dosis (Gy)	Umur Berbunga (hst)	Umur Panen (hst)	Periode Panen (kali)
0	39,5 a	90,0 a	6,0 c
400	39,8 a	93,5 a	5,0 bc
500	40,0 ab	95,3 b	4,5 b
600	40,8 b	100,5 c	1,8 a
700	42,5 c	104,0 c	1,0 a
800	10,00 d	15,00 c	3,50 c

Keterangan:

nilai yang diikuti huruf yang sama pada kolom rerata pada setiap karakter tidak berbeda nyata berdasarkan uji HSD pada taraf 5%

Periode panen tercepat dihasilkan pada dosis 800 Gy yaitu 1 kali dan tidak berbeda nyata dengan dosis 700 dan 600 Gy tetapi berbeda nyata dengan perlakuan lain. Periode panen paling lama dihasilkan pada dosis 0 Gy yaitu 6 kali dan tidak berbeda nyata dengan dosis 400 Gy. Iradiasi sinar gamma berpengaruh sangat nyata terhadap berat basah bunga, berat kering bunga dan jumlah biji/bunga rosella.

Tabel 4 menunjukkan bahwa berat basah bunga terberat dihasilkan pada dosis 0 Gy yaitu 788,74 g dan berbeda nyata dengan perlakuan lain. Berat basah bunga paling ringan dihasilkan pada dosis 800 dan 700 Gy yaitu 0,50 g. Berat kering bunga terberat dihasilkan pada dosis 0 Gy yaitu 290,75 g dan berbeda nyata dengan perlakuan lain. Berat kering paling ringan dihasilkan pada dosis 800 dan 700 Gy yaitu 0,30 g. Hasil ini sejalan dengan Sutapa dan Kasmawan [29] melaporkan bahwa semakin meningkat dosis iradiasi maka terjadi penurunan buah pada tomat.

Jumlah biji/bunga paling banyak dihasilkan pada dosis 0 Gy yaitu 20 butir dan berbeda nyata dengan perlakuan lain. Jumlah biji/bunga paling sedikit dihasilkan pada dosis 800 dan 700 Gy yaitu 0 butir. Hal ini terjadi diduga karena terjadi gangguan fisiologis pada periode pemasakan bunga sehingga tanaman yang diiradiasi pada dosis 800 dan 700 Gy tidak menghasilkan biji. Hasil ini sejalan dengan Sibarini dkk. bahwa semua tanaman kedelai hasil radiasi menghasilkan bunga, tetapi ada beberapa tanaman yang tidak berhasil membentuk polong atau rasim bunga tidak berkembang [30].

Tabel 4. Pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap berat basah bunga, beratkeringbunga dan jumlah biji/bunga rosella merah

Dosis (Gy)	BeratBasah Bunga (g)	BeratKering Bunga (g)	JumlahBiji/Bunga
0	783,74 a	290,75 a	20,0 a
400	233,37 b	102,70 b	16,5 b
500	158,13 bc	73,30 b	10,5 c
600	26,03 c	12,05 c	4,5 d
700	0,50 c	0,30 c	0,0 d
800	0,50 c	0,30 c	0,0 d

Keterangan:

nilai yang diikuti huruf yang sama pada kolom rerata pada setiap karakter tidak berbeda nyata berdasarkan uji HSD pada taraf 5%

Secara umum iradiasi sinar gamma pada tanaman rosella merah berdampak pada menurunnya respon pada fase vegetatif dan generatif. Semakin tinggi dosis mutagen maka semakin banyak mutasi yang terjadi, semakin banyak kromosom baru yang terbentuk, dan gen yang hilang. Selain itu, saat materi reproduksi tanaman terkena radiasi, maka proses ionisasi akan terjadi dalam jaringan, dan menyebabkan perubahan pada tingkat sel, genom, kromosom serta DNA.

KESIMPULAN

Nilai LD₅₀ tanaman rosella merah adalah 688,10 Gy. Iradiasi pada dosis 700 dan 800 Gy dihasilkan tanaman dengan tipe pertumbuhan *determinate*, terjadi perubahan bentuk daun dengan warna hijau muda, batang merah muda dan bunga yang hanya muncul pada titik tumbuh. Iradiasi berpengaruh sangat nyata terhadap tinggi tanaman, lebar tajuk, jumlah cabang, umur panen, periode panen, berat bunga basah, berat bunga kering dan jumlah biji/bunga rosella merah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pengawas Obat dan Makanan, "Monografi ekstrak tumbuhan obat Indonesia", Jakarta: Badan POM RI, 2004.
- [2] Mardiah dkk., "Budidaya dan pengolahan rosella si merah segudang manfaat", *Agromedia Pustaka*, Jakarta, 2009.
- [3] D. Dahiru, O.J. Obi, H. Umaru, "Effect of *Hibiscuss sabdariffa* calyx extract on carbon tetrachloride induced liver damage", *Nigerian*

- Society for Experimental Biology*, vol. 15, no. 1, pp. 27-33, 2003.
- [4] Maryani, L. Kristiana, “Khasiat dan manfaat rosella”, *Agromedia Pustaka*, Jakarta, 2005.
- [5] D.E. Rantau dkk., “Analisis ukuran dan kerapatan stomata pada *Artemisia annua* L. hasil perlakuan kolkisin”, *Prosiding Temu Ilmiah Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia Seminar Nasional XXIII*, Yogyakarta, 2014.
- [6] C. Mba, “Induced mutations unleash the potential of plant genetic resources for food and agriculture”, *Agronomi*, vol. 3, pp. 200-231, 2013.
- [7] K. Rashid *et al.*, “The Effect Of Using Gamma Rays On Morphological Characteristics Of Ginger (*Zingiber Officinale*) Plants”, *Life Science Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 1538-1544, 2013.
- [8] S.R. Anshori, S.I. Aisyah, L.K. Darusman, “Induksi mutasi fisik dengan iradiasi sinar gamma pada kunyit”, *Jurnal Hortikultura Indonesia*, vol. 5, no. 3, pp. 84-94, 2014.
- [9] P. Werdhiwati, “Karakterisasi genotipe okra merah dan okra hijau hasil induksi mutasi”, Skripsi, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2016.
- [10] E.I. Azzahra, “Mutan putatif kecombrang (*Etlingera elatior*) hasil iradiasi sinar gamma secara intermitten”, Tesis, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2019.
- [11] I. Muhallilin, “Optimasi metode aklimatisasi dan iradiasi sinar gamma untuk meningkatkan keragaman genetik dan kandungan kimia pada jengger ayam (*Celosia cristata* L.)”, Tesis, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2019.
- [12] H. Rusmiyati, “Induksi mutasi fisik pada torbangun (*Coleus amboinicus* Lour) untuk meningkatkan keragaman kandungan metabolit sekunder”, Tesis, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2019.
- [13] Junaidi, Y.A. Wulandari, “Effect of the combination of organic and inorganic fertilizers on the growth and production of melons (*Cucumis melo* L)”, *Advances in Intelligent Systems Research (AISR)*, vol. 149, pp. 84-87, 2017.
- [14] P. Werdhiwati, S.H. Sutjahjo, D. Wirnas, “Induksi mutasi sinar gamma dan seleksi tanaman okra merah untuk perbaikan daya hasil”, *Jurnal Hortikultura Indonesia*, vol. 11, no. 1, pp. 72-81, 2020.
- [15] A.A. Mattjik, Sumertajaya, “Perancangan percobaan. dengan aplikasi SAS dan minitab”, *IPB Press*, Bogor, 2013.
- [16] A.S. Larik, S. Memon and Z.A. Soomro, “Radiation induced polygenetic mutation in *Sorghum bicolor* L”, *Journal of Agricultural Research*, vol. 47, no. 1, pp. 11-19, 2009.
- [17] Y.A. Wulandari, Sobir, S.I. Aisyah, “Studi radiosensitivitas dan analisis keragaman M1 kacang tunggak (*Vigna unguiculata* L) hasil induksi mutasi”, *Jurnal Agrosains dan Teknologi*, vol. 4, no. 1, pp. 1-9, 2019.
- [18] D. Marcu, V. Cristea, L. Daraban, “Dose-dependent effects of gamma radiation on lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata) seedlings”, *International Journal of Radiation Biology*, pp. 1-5, 2012.
- [19] S. Taheri, T.L. Abdullah, Z. Ahmad, N.A.P. Abdullah, “Effect of acute gamma irradiation on *Curcuma alismatifolia* varieties and detection of DNA polymorphism through SSR marker”, *BioMed Research International*, pp. 1-18, 2014.
- [20] M.R. Romadhon, Y.A. Wulandari, N. Yuniyati, S.I. Aisyah, “Penentuan LD₅₀ dan pendugaan keragaman mentimun hasil iradiasi sinar gamma”, *Prosiding Seminar Nasional PERIPI*, Bogor, 2017.
- [21] S.K. Datta, “Success story of induced mutagenesis for development of new ornamental varieties”, *Biodiversity and Bioavailability*, vol. 6, no. 1, pp. 15-26, 2012.

- [22] Y.A. Wulandari, Sobir, S.I. Aisyah, “Analisis keragaman dan kekerabatan kacang tunggak (*Vigna unguiculata* L) generasi M2”, *Jurnal Agrosains dan Teknologi*, vol. 5, no. 1, pp.46-53, 2020.
- [23] F.A. Cahyo, D. Dinarti, “Pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap pertumbuhan protocorm like bodies anggrek *Dendrobium lasianthera* (JJ. Smith) secara *in vitro*”, *Jurnal Hortikultura Indonesia*, vol. 6, no. 3, pp. 177-186, 2015.
- [24] R. Indrayanti, N.A. Mattjik, A. Setiawan, Sudarsono, “Evaluasi keragaman fenotipik pisang cv. Ampyang hasil iradiasi sinar gamma di rumah kaca”, *Jurnal Hortikultura Indonesia*, vol. 3, no. 1, pp. 24-34, 2012.
- [25] W. Sawangmee, T. Taychasinpitak, P. Jompuk, S. Kikuchi, “Effects of gamma ray irradiation in plant morphology of interspecific hybrids between *Torenia fournieri* and *Torenia baillonii*”, *Kasetsart Journal (Nat. Sci.)*, vol. 45, pp. 803-810, 2011.
- [26] H.L. Ramesh, V.N.Y. Murthy, Munirajappa, “Effect of gamma radiation on morphological and growth parameters of mulberry variety M5”, *International Journal of Science and Nature*, vol. 3, no. 2, pp. 447-452, 2012.
- [27] S.I. Aisyah dkk., “Induksi mutasi pada stek pucuk anyelir (*Dianthus caryophyllus* Linn.) melalui iradiasi sinar gamma”, *Jurnal Agronomi Indonesia*, vol. 37, no. 1, pp. 62-70, 2009.
- [28] Y.U. Anggraito, K.K. Pukan, “Perubahan karakter kuantitatif *Mucuna pruriens* generasi M1 pasca irradiasi sinar gamma Co-60”, *Jurnal Sainteknologi*, vol. 13, no. 1, pp. 79-86, 2015.
- [29] G.N. Sutapa, I.G. Kasmawan, “Efek induksi mutasi radiasi gamma 60CO pada pertumbuhan fisiologis tanaman tomat (*Lycopersicon esculentum* L.)”, *Jurnal Keselamatan Radiasi dan Lingkungan*, vol. 1, no. 2, pp. 5-11, 2016.
- [30] I.B. Sibarani, R.R. Lahay, D.S. Hanafiah, “Respon morfologi tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) varietas anjasmoro terhadap beberapa iradiasi sinar gamma”, *Jurnal Online Agroekoteknologi*, vol. 3, no. 2, pp. 515-526, 2015.
- [31] L. Sari dkk., “Pengaruh iradiasi sinar gamma pada pertumbuhan kalus dan tunas tanaman gandum (*Triticum aestivum* L.)”, *Ilmu Pertanian*, vol. 18, no. 1, pp. 44-50, 2015.

