

Potensi Pemuliaan Mutasi Radiasi sebagai upaya Peningkatan Variasi Genetik pada Tanaman Hias

Fitri Damayanti^{1*}

¹Program Studi Pendidikan MIPA, Fakultas Pascasarjana, Universitas Indraprasta PGRI

*email: fitridamayantineng@gmail.com

Article History

Received:
20/03/2021
Revised:
04/04/2021
Accepted:
10/04/2021

Kata kunci:

Kultur jaringan
Pemuliaan
tanaman
Sinar Gamma
Variasi genetik

ABSTRAK

Pemuliaan tanaman berbasis induksi mutasi radiasi memiliki peranan penting untuk peningkatan kualitas atau daya hasil tinggi pada tanaman hias. Induksi mutasi berarti perbaikan mutu genetik untuk memperoleh tanaman dengan sifat-sifat yang diinginkan melalui perubahan susunan genetik suatu tanaman. Secara komersial, tanaman hias yang diminati adalah memiliki variasi genetik yang tinggi seperti bentuk dan corak daun, warna bunga, masa penyimpanan bunga yang panjang, dan tahan terhadap hama dan penyakit. Teknologi induksi mutasi radiasi yang dilakukan melalui kultur jaringan terbukti mampu menghasilkan sejumlah besar mutan, yaitu dihasilkannya variasi genetik yang berbeda dengan tanaman liarnya. Keuntungan aplikasi induksi mutasi yang dikombinasi dengan teknik kultur jaringan adalah mutasi terjadi dapat timbul pada tingkat sel. Hal ini berpeluang tinggi untuk mendapatkan variasi genetik lebih besar dari teknik konvensional. Keberhasilan kegiatan pemuliaan melalui teknik mutasi radiasi dipengaruhi oleh bagian tanaman yang diaplikasikan dan konsentrasi dosis radiasi yang efektif. Tulisan ini adalah ulasan literatur mengenai potensi dan aplikasi teknik pemuliaan mutasi radiasi yang berfokus pada dosis radiasi sinar gamma yang efektif terhadap induksi karakteristik kebaharuan dari tanaman hias.

ABSTRACT

Keyword:

Genetic
variation
Gamma-ray
Plant breeding
Tissue culture

Plant breeding based on induction of physical mutation has an important role in improving the quality or high yield of ornamental plants. Induction of mutation means improving genetic quality to obtain the desired traits of plant through changing the genetic material of a plant. Demanding of ornamental plants that have high genetic variations such as leaf shape and pattern, flower color, long flower shelf life, and resistance to pests and diseases, commercially. Induction technology using gamma rays carried out through tissue culture technique has been shown to be able to produce large numbers of mutants. Mutant production has different genetic variations from their wild plants. The advantage that can be achieved through induction of mutations with tissue culture techniques is that mutations occur at the cellular level. This technique has a high chance of obtaining genetic variation than conventional techniques. The success of breeding activities through mutation techniques is influenced by the type of mutagen used, the part of the plant that was applied, and the concentration of the effective mutagen dose. This paper is a review on the potential and application of radiation mutation breeding techniques that focus on the effective radiation dose of gamma ray which induced novelty characteristics of ornamental plants.

Copyright © 2021 LPPM Universitas Indraprasta PGRI. All Right Reserved

PENDAHULUAN

Teknik pemuliaan tanaman diterapkan untuk meningkatkan variasi genetik. Beberapa teknik pemuliaan yang umum diterapkan adalah: introduksi gen, seleksi, hibridisasi, dan mutasi. Penerapan induksi mutasi terbukti telah menghasilkan berbagai varietas unggul komersial.

Teknik ini berhasil diterapkan pada tanaman hortikultura seperti tanaman hias dan buah-buahan atau pada tanaman pangan dan perkebunan. Oleh karena itu pemuliaan induksi mutasi sangat menjanjikan untuk menghasilkan tanaman dengan sifat-sifat yang diinginkan. Pengembangan potensi tanaman meliputi: ketahanan terhadap cekaman biotik (seperti hama dan penyakit), ketahanan



terhadap faktor abiotik (seperti kekeringan, lahan masam, kandungan garam tinggi, suhu tinggi, dan suhu rendah), peningkatan kualitas termasuk umur panen dan tinggi tanaman, dan karakteristik bunga (warna, ukuran, bentuk, atau aroma). Variasi genetik yang terjadi merupakan perubahan pada bahan genetik bukan karena rekombinasi atau segregasi. Perubahan bahan genetik dapat timbul pada tingkat asam nukleat yaitu DNA, pada tingkat kromosom atau pada set kromosom.

Keberhasilan dalam perbaikan sifat tanaman dipengaruhi oleh penerapan teknik yang digunakan. Perbaikan sifat tanaman secara konvensional kurang efisien karena perubahan tidak terjadi pada tingkat gen. Selain itu, tingkat perbanyakan yang rendah sehingga harganya menjadi mahal. Pengembangan secara konvensional juga lambat, hal ini karena tingkat keragaman yang dihasilkan rendah dan adanya inkompatibilitas seksual sehingga perakitan varietas unggul baru sulit dilakukan. Permasalahan yang dihadapi tersebut dapat diatasi dengan menggunakan teknologi yaitu kultur jaringan atau teknik kultur *in vitro*. Salah satu keuntungan aplikasi teknik kultur jaringan adalah mutasi dapat timbul pada tingkat sel sehingga peluang timbulnya keragaman genetik lebih besar dari pada teknik konvensional. Selain itu, keuntungan pemuliaan induksi mutasi adalah dapat memisahkan gen linkage, menghasilkan sifat-sifat baru, dan efektif dalam perbaikan sifat.

Perbaikan sifat tanaman secara *in vitro* dapat dilakukan melalui induksi keragaman somaklonal. Van den Bulk (1991) menyatakan bahwa induksi keragaman somaklonal dari kultur jaringan memberikan peluang baru untuk perbaikan sifat-sifat tanaman yang berguna dalam menunjang program pemuliaan tanaman. Keragaman somaklonal diperoleh melalui fase pertumbuhan yang tidak terdiferensiasi. Sejumlah mutan telah banyak dilaporkan diperoleh dari fase kalus dan sel bebas (Duncan & Widholm, 1990). Teknik induksi keragaman somaklonal lebih sederhana bila dibandingkan dengan teknik rekombinasi DNA dan menghasilkan keragaman genetik dalam jumlah banyak. Selain itu, metode ini dapat diantisipasi dalam jangka pendek, dimana somaklon dapat diidentifikasi dalam tabung, lebih efisien, dan efektif serta biayanya lebih murah. Oleh karena itu teknik ini memberikan peluang dalam pengembangan bibit yang berguna untuk menunjang program pemuliaan tanaman. Induksi keragaman somaklonal dapat dilakukan dengan mengaplikasikan mutagen fisik pada bahan tanaman atau eksplan.

Keberhasilan kegiatan pemuliaan melalui teknik mutasi radiasi menggunakan teknologi kultur jaringan dipengaruhi oleh bagian tanaman yang diaplikasikan dan konsentrasi dosis mutagen yang efektif. Untuk mengetahui potensi dan aplikasi teknik pemuliaan mutasi tanaman, tulisan ini menerangkan penerapan teknik pemuliaan induksi mutasi pada tanaman melalui teknik kultur jaringan yang berfokus pada dosis efektif dari mutasi radiasi terhadap induksi karakteristik kebaruan pada tanaman hias baik keragaman morfologi atau fisiologinya.

APLIKASI INDUKSI MUTASI PADA TANAMAN HIAS

Tanaman hias berpotensi tinggi untuk dikembangkan. Seiring dengan peningkatan pendapatan masyarakat maka permintaan tanaman hias terus meningkat sepanjang tahun. Pada masa pandemik Covid-19 walaupun terjadi penurunan perekonomian secara global namun permintaan dan minat akan tanaman hias mengalami peningkatan. Jenis tanaman hias yang mencuri perhatian salah satunya adalah *Monstera adansonii* karena keunikan akan bentuk dan warna daunnya. Tanaman ini memiliki morfologi daun meruncing dengan bagian yang berlobang-lobang pada daunnya, sehingga mendapat julukan 'janda bolong'. Tanaman ini awalnya tidak mendapat perhatian dan harganya pun relatif sangat murah. Harga satu polibag *M. adansonii* muda dengan 3-4 daun hanya dibandrol sekitar Rp10 ribu. Namun jenis yang paling banyak dicari adalah jenis variegata dengan daun berwarna campuran hijau, putih, atau kuning. Jenis variegata ini dapat mencapai harga Rp 50 juta (Saputra, 2020). Tanaman *M. adansonii* variegata yang ada terjadi karena mutasi alami. Namun tanaman variegata sangat sulit diperoleh secara alami. Mutasi alami membutuhkan waktu yang sangat lama dan jumlahnya terbatas oleh karena itu harganya pun menjadi mahal.

Variegata adalah bagian tanaman yang berbeda penampilan warnanya dari tampilan aslinya. Sifat variegata terjadi karena perubahan genetik atau mutasi pada sel-sel tanaman. Umumnya bagian yang mengalami variegata terletak berdampingan pada bagian tubuh tanaman tertentu. Ekspresi dari variegata adalah bercak warna berbeda yang dengan warna aslinya. Umumnya variegata menghasilkan warna putih atau kuning bahkan merah muda dengan coraknya tidak beraturan atau beraturan. Tampilan yang unik inilah yang menyebabkan tanaman variegata diburu para

kolektor tanaman langka dan memiliki harga jual yang fantastik.

Permasalahan dalam pengembangan tanaman hias adalah umumnya varietas-varietas tanaman hias yang diperdagangkan sebagian besar adalah tanaman introduksi. Yufdy *et al.* (2012) melaporkan bahwa sekitar 102 varietas unggul tanaman hias dilepas oleh Balai Penelitian Tanaman Hias antara tahun 2002-2011, tetapi varietas tersebut dihasilkan melalui pemuliaan konvensional yaitu persilangan buatan. Pemuliaan tanaman secara konvensional membutuhkan waktu yang lama. Selain itu, variasi genetik yang rendah pada tanaman hias juga disebabkan karena umumnya tanaman hias diperbanyak secara vegetatif. Hal ini memberikan peluang penerapan aplikasi teknik induksi mutasi melalui teknik kultur jaringan untuk pengembangan tanaman hias. Penerapan aplikasi pemuliaan mutasi dengan kultur jaringan pada tanaman hias sudah lama diterapkan di negara-negara produsen tanaman hias seperti Belanda dan Amerika Serikat. Teknik ini sangat menjanjikan untuk mendapatkan varietas-varietas baru tanaman hias dengan morfologi yang unik dan menarik dalam waktu singkat, jumlah banyak, dan murah. Teknik induksi mutasi juga dapat diterapkan untuk mendapatkan karakteristik kabaharuan seperti: warna tanaman yang lebih cerah, masa mekar bunga yang lebih lama atau tahan terhadap hama dan penyakit.

INDUKSI SINAR GAMMA PADA TANAMAN HIAS

Mutagen fisik adalah radiasi energi nuklir. Umumnya mutagen fisik yang digunakan adalah iradiasi sinar gamma. Di Indonesia, penerapan induksi mutasi fisik sudah dilakukan sejak tahun 1967 tepat setelah berdirinya instalasi sinar Co^{60} di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Pasar, BATAN. Secara insentif, pemuliaan mutasi dilakukan tahun 1972 berkat bantuan teknik dari International Atomic Energy Agency (IAEA) yang berkedudukan di Wina (Hendratno & Mugiono, 1996).

Mutagen fisik yang umum diberikan adalah sinar-X, sinar gamma, sinar ultra violet (UV), partikel alfa, neutron, beta, dan proton. Pada teknik kultur *in vitro* mutagen fisik yang umum diberikan adalah radiasi sinar gamma. Larkin & Scowcroft (1981) menyatakan bahwa radiasi sinar gamma terbukti mampu meningkatkan keragaman genetik tanaman yang diperbanyak secara vegetatif. Hasil perlakuan radiasi dapat diperoleh mutan-mutan

baru sebagai sumber keragaman untuk peningkatan kualitas genetik tanaman.

Dosis satuan serapan iradiasi sinar gamma berdasarkan Sistem Turunan Satuan Internasional (SI) adalah Gray (Gy). Nilai 1 Gy didefinisikan sama dengan 1 J kg^{-1} , sedangkan nilai satuan non-SI untuk iradiasi adalah 100 rad yang setara dengan 1 Gy atau $1 \text{ krad} = 10 \text{ Gy}$ (Kodym & Afza 2003). Dosis radiasi umumnya dinyatakan dalam tiga kategori, yaitu tinggi (lebih dari 10 kGy), sedang (1 hingga 10 kGy), dan rendah (kurang dari 1 kGy). Penggunaan iradiasi dosis rendah umumnya diaplikasikan pada bahan benih dengan variasi 60 hingga 700 Gy (Ahloowalia & Maluszynski, 2001). Konsentrasi radiasi yang digunakan sangat menentukan nilai Lethal Dosis 50 (LD_{50}). Nilai ini menunjukkan dosis yang menyebabkan tingkat kematian sebesar 50% dari populasi tanaman yang diradiasi. LD_{50} adalah salah satu parameter dalam mengukur sensitivitas jaringan terhadap radiasi (radiosensitivitas). Dosis radiasi sangat menentukan keberhasilan dalam induksi keragaman genetik sehingga peluang untuk melakukan seleksi dengan karakter spesifik yang diinginkan dari populasi yang dihasilkan tinggi.

Aplikasi dan Mekanisme Induksi Radiasi Sinar Gamma

Proses induksi mutagenik yang terjadi pada sel terutama pada biji melalui mekanisme: a) primer atau respons fisik yaitu terjadinya gangguan langsung pada molekul suatu zat dan b) respon sekunder atau kimiawi dari molekul terionisasi dengan dihasilkannya radikal bebas (Lagoda, 2012). Radiasi sinar gamma memiliki energi tinggi dan mampu menembus bagian terbuka dari sel dan jaringan tumbuhan, bahkan DNA dari bahan tanaman pun mungkin akan mengalami perubahan ekstrim karena langsung terpapar radiasi atau melalui pembentukan radikal bebas yaitu *reaktif oksigen spesies* (ROS) seperti hidrogen peroksida dan ion hidroksi (Majeed *et al.*, 2017; Majeed *et al.*, 2018). Hasil penelitian mutagenesis menunjukkan bahwa DNA suatu organisme yang terpapar radiasi bila terjadi perbaikan DNA maka organisme tersebut mampu bertahan hidup. Sebaliknya, bila organisme yang terpapar radiasi tidak mampu melakukan perbaikan DNA maka akan terjadi penurunan viabilitas dan organisme tersebut tidak mampu bertahan hidup (Shu *et al.*, 2012).

Intensitas iradiasi sinar gamma mempengaruhi ekspresi dari keragaman secara morfologi, anatomi, biokimia, struktur, dan fisiologi tanaman.

Hal ini menyebabkan perubahan struktur selular sel dan metabolisme seperti: proses dilasi dari membran tilakoid, perubahan fotosintesis, sistem antioksidatif, dan terjadi akumulasi fenolik (Kim *et al.*, 2004; Wi *et al.*, 2005). Radiasi sinar gamma dosis tinggi yang diaplikasikan pada biji mampu mengganggu sintesis protein, keseimbangan hormon, pertukaran udara pada daun, pertukaran air, dan aktivitas enzim (Hameed *et al.*, 2008). Perlakuan mutagen sinar gamma dapat merusak DNA dan mengganggu mekanisme perpasangan DNA, sehingga dihasilkan mutan baru secara acak dan dapat diwariskan. Perubahan dapat terjadi juga di organel sitoplasma dan menghasilkan juga perubahan kromosomal atau mutasi genomik. Perubahan yang terjadi secara langsung akan berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pada teknik pemuliaan perlakuan induksi mutasi dengan radiasi yang diharapkan adalah dapat menimbulkan perubahan fisiologis yang rendah dan menghasilkan variasi genetik. Mutagenesis ini bertujuan untuk mempengaruhi kompatibilitas, tinggi tanaman, masa berbunga, warna buah, pematangan buah, dan ketahanan terhadap penyakit, serta serangga (Piri *et al.*, 2011). Pemuliaan tanaman dengan mutasi radiasi bersifat radiosensitif, sehingga respon yang terjadi dipengaruhi oleh dosis iradiasi yang diberikan. Beberapa proses fisiologis dapat terpengaruh dan terjadi penurunan sifat pada aplikasi radiasi sinar gamma dosis tinggi (Maity *et al.*, 2005).

Perlakuan induksi mutagen fisik dapat diaplikasikan pada bagian tanaman seperti pucuk, tunas adventif, stek batang, potongan akar, daun, tangkai daun, jaringan somatik, pedicels (Spencer-Lopes *et al.*, 2018). Aplikasi mutasi dengan teknik kultur jaringan memungkinkan untuk memperoleh keragaan tanaman dengan sifat yang diinginkan melalui manipulasi media MS (Murashige and Skoog) yang diperkaya dengan hormon pertumbuhan. Penerapan induksi mutasi dengan teknik *in vitro* memerlukan bahan tanaman, jaringan dan suspensi sel dalam jumlah yang sangat banyak. Perlakuan radiasi dengan daya tinggi dapat diperoleh pada kondisi botol tertutup, sedangkan radiasi dengan daya kecil diterapkan pada botol terbuka untuk memperoleh pengaruh yang homogen.

Keberhasilan budidaya tanaman hias komersial melalui induksi mutasi secara fisik sangat ditentukan oleh penerapan dosis yang tepat dan bahan tanaman yang digunakan sebagai eksplan. Tetapi penggunaan radiasi dosis tinggi dapat menyebabkan nekrotik atau kehilangan

kemampuan perkembangan pada jaringan (Ahloowalia & Maluszynski, 2001). Hasil penelitian Damayanti dkk. (2011), perlakuan iradiasi sinar gamma pada konsentrasi 8 Krad pada tunas *in vitro* dari *Nepenthes mirabilis* dan *N. gracilis* menyebabkan jaringan mencoklat dan akhirnya tunas mengalami kematian. Selain itu, keberhasilan induksi mutasi juga dipengaruhi oleh bahan tanaman atau eksplan yang digunakan. Beberapa penelitian memperlihatkan bahwa penggunaan eksplan berupa kalus lebih hipersensitif terhadap induksi radiasi dan dosis yang rendah antara 2 dan 5 Gy, sedangkan eksplan berupa batang atau biji membutuhkan dosis radiasi yang relatif lebih besar antara 15 sampai 20 Gy.

Potensi Induksi Mutasi dengan Radisi Sinar Gamma pada Tanaman Hias

Pada kultivar komersial, perbanyak vegetatif lebih diinginkan karena dapat dihasilkan tumbuhan baru dari bagian tanaman induk. Penerapan radisi sinar gamma mampu meningkatkan frekuensi mutasi pada sel-sel somatik dengan keragaan yang diinginkan. Walaupun induksi mutasi seringkali dianggap sebagai fase sel tunggal, tetapi apeks multiseluler juga dikenal sebagai kelompok alternatif dari lapisan sel seperti korpus, epidermis, sub epidermis, dan sel meristematik

Induksi mutasi dengan radiasi sinar gamma pada tanaman hias komersial menimbulkan perubahan sifat yang diinginkan seperti pada Tabel 1. Perlakuan dosis radiasi berpengaruh terhadap sifat fisiologis seperti: tingkat viabilitas tanaman, ukuran, bentuk, warna bunga, hasil atau produksi, letalitas, dan sifat fisiologis lainnya. Hasil penelitian Patil *et al.* (2017) memperlihatkan pada kultivar krisan pada perlakuan radiasi sinar gamma 0.5-3.0 Krad dapat meningkatkan kelangsungan hidup tanaman dari tanaman kontrol. Keragaan tanaman tertinggi dan jumlah bunga terbanyak dihasilkan dari perlakuan dosis 2.5 dan 3.0 Krad. El-Khateeb *et al.* (2017) melakukan induksi mutasi sinar gamma pada dosis 15, 20, dan 25 Gy pada biji tanaman strawflower dan berhasil memperoleh variasi warna bunga yang awalnya berwarna kuning dihasilkan keragaman warna mahkota dan dihasilkan tanaman variegata pada generasi M1 dan M2. Penelitian Setia *et al.* (2020) pada tanaman *Chrysanthemum* berhasil diperoleh variasi warna dan bentuk bunga pada dosis 10, 15, dan 25 Gy. Hal sebaliknya diperoleh dari penelitian Billore *et al.* (2019) pada kultur pucuk anggrek terjadi penurunan pertumbuhan tanaman pasca perlakuan radiasi sinar gamma pada dosis 15 sampai 45 Gy,

yaitu terjadi penurunan panjang pucuk, berat segar, dan luas daun.

Keuntungan induksi mutasi radiasi menggunakan kultur *in vitro* adalah meningkatkan kemampuan meradiasi bahan tanaman dalam jumlah besar dengan lingkungan tumbuh yang terkendali. Keberhasilan metode ini dipengaruhi oleh sumber bahan tanaman yang berkembang dari

sel atau jaringan yang telah mengalami perubahan genetik akibat mutasi. Perubahan genetik yang timbul dapat dimanifestasikan dari sifat morfologi tanaman seperti bentuk daun, bentuk bunga dan sifat fisiologis seperti resistensi terhadap hama dan penyakit serta toleran terhadap berbagai cekaman lingkungan.

Tabel 1. Perubahan sifat melalui induksi mutasi dengan radiasi sinar gamma

Tanaman	Karakteristik	Dosis radiasi	Eksplan/bagian tanaman yang digunakan	Referensi
<i>N. mirabilis</i> <i>N. gracilis</i>	Karakter morfologi yang berbeda dari kontrol dan dihasilkan variegata	2, 4, dan 6 Krad	Tunas <i>in vitro</i>	Damayanti dkk., 2011
<i>Matthiola incana</i> sp.; <i>Dimorphotheca ecklonis</i> ; <i>Dianthus caryophyllus</i>	Jumlah daun, berat segar, panjang dan jumlah akar, jumlah bunga, masa penyimpanan bunga yang lebih lama dari kontrol	150 rad	Biji	Khatib & Hegazi, 2015
Lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i>)	Keragaan morfologi, pembungaan dan karakter anatomi berbeda dari kontrol	5, 10, 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 KR	Tunas lateral	Dahab <i>et al.</i> , 2015
Strawflower (<i>Helichrysum bracteatum</i>)	Warna bunga dan variegata	5- 40 Gy	Biji	El-Khateeb <i>et al.</i> , 2017
Orchid (<i>Dendrobium sonia</i>)	Viabilitas dan berat basah yang lebih tinggi dari kontrol	10-200 Gy	Protocorm like bodies (PLB)	Dehgahi & Joniyasa, 2017
Gladiolus (<i>Gladiolus grandifloras</i>)	Menginduksi pembungan dan perubahan warna bunga	15, 30, 45, dan 60 Gy	Corm	Shukla <i>et al.</i> , 2018
Bunga matahari (<i>Helianthus annuus</i>)	Tanaman lebih tinggi dan akar lebih panjang	100-900 Gy	Biji	Diaz <i>et al.</i> , 2018
Gerbera (<i>Gerbera jamesonii</i>)	Tahan terhadap penyakit powdery mildew	5 Gy	Tunas <i>in vitro</i>	Ghani & Sharma, 2019
Jengger ayam (<i>Celosia cristata</i>)	Keragaan morfologi (batang, daun, bunga) berbeda dari kontrol, variegata, perubahan kandungan kimia (triterpenoid)	25, 50, dan 75 Gy	Planlet	Muhallilin <i>et al.</i> , 2019
Seruni Chrysanthemum	Warna dan bentuk bunga, ukuran daun berbeda dari kontrol	5, 10, 15, dan 20 Gy	Stek berakar	Setia <i>et al.</i> , 2020
Anggrek Cymbidium hybrid kultivar RB003 dan RB012	Mutan kimera	20, 40, 60, 80, dan 100 Gy	Rimpang	Kim <i>et al.</i> , 2020

KESIMPULAN

Pemuliaan mutasi radiasi berpotensi tinggi untuk menghasilkan karakteristik kebaruan pada tanaman hias. Karakteristik kebaruan merupakan perubahan genetik yang dimanifestasikan dari keragaman morfologi dan fisiologi tanaman, yaitu: keragaman genetik pada daun (bentuk, corak, dan warna daun yang unik atau variegata), bunga (warna, bentuk, dan ukuran bunga serta masa penyimpanan bunga yang panjang) dan perubahan fisiologis seperti: ketahanan terhadap hama dan

penyakit serta toleransi terhadap cekaman lingkungan. Induksi mutasi dengan radiasi sinar gamma terjadi perubahan genetik pada tingkat DNA. Aplikasi kultur jaringan dalam pemuliaan mutasi terbukti memiliki keberhasilan yang tinggi dalam menghasilkan sejumlah besar mutan dengan keragaman yang berbeda dengan tipe liarnya. Keuntungan induksi mutasi menggunakan kultur jaringan atau *in vitro* adalah mutasi terjadi pada tingkat sel, galur baru dapat dihasilkan dalam jumlah besar dengan lingkungan tumbuh yang terkendali dan dalam waktu singkat. Keberhasilan

metode ini dipengaruhi oleh konsentrasi dosis radiasi dan bagian tanaman yang diaplikasikan.

REFERENSI

- Ahloowalia, B. S., & Maluszynski, M. (2001). Induced mutations-a new paradigm in plant breeding. *Euphytica*, *118*, 167-173. <https://doi.org/10.1023/A:1004162323428>.
- Billore, V., Mirajkar, S. J., Suprasanna, P., & Jain, M. (2019). Gamma irradiation induced effects on *in vitro* shoot cultures and influence of monochromatic light regimes on irradiated shoot cultures of *Dendrobium sonia* orchid. *Biotechnology Reports*, *22*, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00343>.
- Dahab, A. M. A., Heikal, A. A. M., Taha, L. S., Gabr, A. M. M., Metwally, S. A., & Ali, A. A. R. (2017). *In vitro* mutagenesis induction in *Eustoma grandiflorum* plant using gamma radiation. *Journal of Environmental Science and Technology*, *10*(4), 175-185. <https://doi.org/10.3923/jest.2017.175.185>.
- Damayanti, F., Roostika, I., & Mansur, M. (2011). Induksi Keragaman Somaklonal pada Tunas Kantong Semar dengan Radiasi Sinar Gamma secara *In Vitro*. In *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir* (pp. 276-281). Bandung: Indonesia: Batan dan UPI.
- Dehgahi, R., & Joniyasa, A. (2017). Gamma irradiation induced variation in *Dendrobium sonia*-28 orchid protocorm-like bodies (PLBs). *Fungal Genom Biol*, *7*, 1-11. <https://doi.org/10.4172/2165-8056.1000151>.
- Diaz, L. E., García, S. A. L., Morales, R. A., Baez, R. I., Perez, V. E., Olivar, H. A., & Loeza, C. J. M. (2018). Effect of gamma radiation of ⁶⁰Co on sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) (Asteraceae), from irradiated achenes. *Sci Agropecu*, *9*, 313-317. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.03.02>.
- Duncan, D. R., & Widholm, J. M. (1990). Techniques for Selecting Mutan from Plant Tissue Culture. In: Pollaer, J. W., & Walker, J. M. (Eds.) *Plant Cell, Tissue Culture: Methods in Molecular Biology* (pp. 443-465). 6th Ed. The Human Press: New York.
- El-Khateeb, M. A., Rawia, A., Eid-Heba, A., Mahfouze., Ashor, H. A., & Mabrouk, R. M. S. (2017). Induction of mutation with gamma radiation in *Helichrysum bracteatum* L. and identification of mutants by molecular markers. *Middle East Journal of Agriculture Research*, *6*(2), 282-293.
- Ghani, M., & Sharma, S. K. (2019). Induction of powdery mildew resistance in gerbera (*Gerbera jamesonii*) through gamma irradiation. *Physiol Mol Biol Plants*, *25*, 159-166. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0613-5>.
- Hameed, A., Shah, T. M., Atta, B. M., Haq, M. A., & Sayed, H. (2008). Gamma irradiation effects on seed germination and growth, protein content, peroxidase and protease activity, lipid peroxidation in desi and kabuli chickpea. *Pak. J. Bot*, *40*(3), 1033-1041.
- Hendratno., & Mugiono. (1996). Present Status of Plant Mutation Breeding in Indonesia: Plant Mutation Breeding in Asia. In *International Conference of Plant Mutation Breeding* (pp. 21-37). Beijing, China.
- Khatab, I. A., & Hegazi, M. A. (2015). Induction of genetic variability with gamma radiation in some flowering ornamental herbs. *International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology*, *2*(6), 88-93.
- Kim, J. H., Baek, M. H., Chung, B. Y., Wi S. G., & Kim, J. S. (2004). Alterations in the photosynthetic pigments and antioxidant machineries of red pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings from gamma irradiated seeds. *J. Plant Biol*, *47*, 314-321.
- Kim, S. H., Kim, S. W., Ahn, J. W., Ryu, J., Kwon, S. J., Kang, B. C., & Kim, J. B. (2020). Frequency, spectrum, and stability of leaf mutants induced by diverse γ -ray treatments in two Cymbidium hybrids. *Plants*, *9*(4), 1-11. <https://doi.org/10.3390/plants9040546>.
- Kodym, A., & Afza, R. (2003). Physical and chemical mutagenesis. *Methods Mol Biol*, *236*, 189-204. <https://doi.org/10.1385/1-59259-413-1:189>.
- Lagoda, P. J. L. (2012). Effects of Radiation on Living Cells and Plants. In: Shu, Q. Y., Forster, B. P., & Nakagawa, H. (Eds.) *Plant Mutation Breeding and Biotechnology* (pp. 108-134). CAB e-Book. <https://doi.org/10.1079/9781780640853.0123>.
- Larkin, P. J., & Scowcroft, W. R. (1981). Somaclonal variation annovel source of variability from cell culture for plant improvement. *Theor. Appl. Genet*, *60*, 197-214.
- Maity, J. P., Mishra, D., Chakraborty, A., Saha, A., Santra, S. C., & Chanda, S. (2005). Modulation of some quantitative and qualitative characteristics in rice (*Oryza sativa* L.) and mung (*Phaseolus mungo* L.) by ionizing radiation. *Radiat Phys Chem*, *74*, 391-394. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2004.08.005>.

- Majeed, A., Muhammad, Z., Ullah, R., Ullah, Z., Ullah, R., Chaudhry, Z., & Siyar, S. (2017). Effect of gamma irradiation on growth and post-harvest storage of vegetables. *PSM Biol Res*, 2, 30-35.
- Majeed, A., Muhammad, Z., Ullah, R., & Ali, H. (2018). Gamma irradiation in: effect on germination and general growth characteristics of plants-A review. *Pak J Bot*, 50, 2449-2453.
- Muhallilin, I., Aisyah, S. I., & Sukma, D. (2019). The diversity of morphological characteristics and chemical content of *Celosia cristata* plantlets due to gamma ray irradiation. *Biodiversitas*, 20(3), 862-866. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200333>.
- Patil, U. H., Karale, A. R., Katwate, S. M., & Patil, M. S. (2017). Mutation breeding in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora* T.). *J Pharmacogn Phytochem*, 6, 230-232.
- Piri, I., Babayan, M., Tavassoli, A., & Javaheri, M. (2011). The use of gamma irradiation in agriculture. *Afr J Microbiol Res*, 5, 5806-5811. <https://doi.org/10.5897/AJMR11.949>.
- Saputra, G. A. (2020). *Monstera adansonii* Variegata, Tanaman Hit Harga Selangit. <https://mediaindonesia.com/read/detail/328485-monstera-adansonii-variegata-tanaman-hit-harga-selangit>. Diakses tanggal 1 Oktober 2020.
- Setia, M. K., Bala, M., & Singh, S. (2020). Induction of novel inflorescence traits in Chrysanthemum through ⁶⁰Co gamma irradiation. *International Journal of Radiation Biology*, 96(10), 1309-1316. <https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1793023>.
- Shu, Q. Y., Forster, B. P., & Nakagawa, H. (2012). Plant Mutation Breeding and Biotechnology. In: Kharkwal, M. C. (Ed). *A Brief History of Plant Mutagenesis* (pp 21-30). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781780640853.0021>.
- Shukla, A., Kashyap, S., Ramteke, V., Sinha, L., & Netam, M. (2018). Effect of gamma rays on flowering and vase life of gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.). *J of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7, 558-561.
- Spencer-Lopes, M. M., Forster, B. P., & Jankuloski, L. (2018). *Manual on Mutation Breeding*. 3rd Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Wi, S. G., Chung, B. Y., Kim, J. H., Baek, M. H., Yang, D. H., Lee, J. W., & Kim, J. S. (2005). Ultrastructural changes of cell organelles in Arabidopsis stem after gamma irradiation. *J. Plant Biol*, 482, 195-200.
- Yufdy, M. P., Soedarjo, M., Marwoto, B., Winarto, B., Rianawati, S., Setyowati, A. S., Rahardjo, I. B., Djatnika, I., Tasman, E., Saefulloh, A., Badriah, D. S., & Sulyo, Y. (2012). *Revitalisasi Balai Penelitian Tanaman Hias Mendukung Peningkatan Kualitas dan Daya Saing Produk Florikultura*. Balithi: Jakarta.
- Van den Bulk, R. W. (1991). Application of cell and tissue culture and *in vitro* selection for disease resistance breeding—a review. *Euphytica*, 56, 269-285.