



PN-006

EVALUASI ORGAN VEGETATIF DAN GENERATIF EMPAT VARIETAS KRISAN HASIL MUTASI SINAR GAMMA

EVALUATION OF VEGETATIVE AND GENERATIVE ORGANS OF FOUR CHRYSANTHEMUM VARIETIES RESULTING FROM GAMMA-RAY MUTATIONS

**Lia Sanjaya, Eka Fibrianty, Ridho Kurniati, Mawaddah, Hanudin, I.B. Raharjo,
Musalamah, Rita Indrasti, dan J.B. Markus Rawung**

ABSTRAK

Krisan (*Dendranthema grandiflora*) merupakan tanaman hias bernilai ekonomi tinggi dan populer sebagai bunga potong. Kendala utama dalam budi daya tanaman krisan adalah penyakit karat. Untuk memperoleh varietas tahan karat, salah satunya dapat dilakukan melalui induksi sinar Gamma. Tujuan penelitian ialah mendapatkan varietas krisan tahan karat melalui iradiasi sinar Gamma, dengan mengubah gen rentan menjadi gen resisten. Penelitian dilakukan selama 2 tahun dari bulan Maret 2016 hingga April 2018. Materi iradiasi menggunakan empat varietas krisan dalam bentuk kalus/planlet yang diiradiasi sinar Gamma pada dosis 0–45 Gy, dengan interval 5 Gy. Multiplikasi planlet hingga pembentukan populasi generasi MV₄ dilakukan pada tahun pertama. Planlet diaklimatisasi dan diskriminasi ketahanannya terhadap penyakit karat. Perbanyakkan vegetatif populasi krisan resisten, hasil skrining penyakit karat dilakukan pada tahun kedua. Tanaman dipelihara hingga mencapai generasi lanjut (MV_n) dan dilakukan penanaman di lapang sampai fase pembungaan. Tanaman krisan yang telah berbunga dievaluasi karakter vegetatif dan generatifnya. Hasil penelitian diperoleh variasi pada jumlah planlet vigor 4 varietas krisan akibat sinar gamma. Eksplan kalus memiliki radiosensitivitas lebih tinggi daripada eksplan planlet. Tanaman krisan tahan penyakit karat diperoleh, tetapi bersifat acak pada setiap varietas dan dosis sinar Gamma. Ketiga populasi krisan hasil induksi sinar Gamma pada planletnya memiliki keunikan pada karakter bentuk kuntum bunga, bentuk bunga pita, dan gradasi intensitas warna bunga. Pada kalus yang diiradiasi sinar gamma terdapat variasi bentuk cakram bunga dan organ lain pada permukaan cakram bunga.

Kata kunci: Krisan; Iradiasi Sinar Gamma; Penyakit Karat; Karakter Morfologi.

ABSTRACT

Chrysanthemum (Dendranthema grandiflora) is an ornamental plant that is very popular in the world and has high economic value. The main obstacle in the cultivation of chrysanthemum is rust disease, so it is necessary to use resistant varieties. Gamma-ray irradiation is an effective way to convert susceptible genes into resistant genes. The objective of the research was to find out the rust resistance of the chrysanthemum. This research was conducted for 2 years starting from March 2016-April 2018. Four varieties of chrysanthemum in the form of callus/planlet were irradiated with gamma rays at various doses (0–45 Gy, with 5 Gy intervals). In the first year, plantlet multiplication was carried out to the MV₄ generation population. Then the plantlets were acclimatized

L. Sanjaya, E. Fibrianty, R. Kurniati, Mawaddah, Hanudin, I. B. Raharjo, Musalamah, R. Indrasti, & J. B. M. Rawung

*Balai Penelitian Tanaman Hias dan BPTP Sulawesi Utara, e-mail: fildzaku@yahoo.co.id

@ 2023 Penerbit BRIN

L. Sanjaya, E. Fibrianty, R. Kurniati, Mawaddah, Hanudin, I. B. Raharjo, Musalamah, R. Indrasti, & J. B. M. Rawung, "Evaluasi organ vegetatif dan generatif empat varietas krisan hasil mutasi sinar gamma," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 5, pp. 45–62, DOI: 10.55981/brin.690.c646, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



and screened for rust disease. In the second year, vegetative propagation was carried out on populations that were resistant to rust disease screening results. Then the next generation population (MV₂) is planted in the field until it blooms to be evaluated for vegetative and generative organs. The results obtained variations in the number of plantlet vigor of 4 varieties of chrysanthemum due to gamma rays. Callus explants had higher radiosensitivity than plantlet explants. Rust-resistant chrysanthemums were obtained, but were random in each variety and dose of Gamma rays. The three populations of chrysanthemum induced by Gamma rays on their plantlets are unique in the character of flower shape, ribbon flower shape, and degradation of flower color intensity. In the callus irradiated by gamma rays, there are variations in the shape of the flower disc and other organs on the surface of the flower disc.

Keywords: *Chrysanthemum; Gamma irradiation; Rust disease; Morphology character.*

PENDAHULUAN

Krisan (*Dendranthema grandiflora*) merupakan tanaman hias yang sangat populer di dunia dan bernilai ekonomi tinggi. Bunga krisan digunakan oleh sebagian besar konsumen bunga di dalam negeri. Produksi bunga potong krisan di Indonesia pada tahun 2018 menduduki peringkat pertama dengan jumlah 488.176.610 tangkai. Produksi bunga potong krisan ini jauh di atas produksi bunga potong tanaman hias lainnya, antara lain mawar 202.065.050 tangkai, sedap malam 116.909.764 tangkai, anggrek 24.717.840 tangkai, gerbera 26.680.911 tangkai, anthurium 5.390.911 tangkai, anyelir 1.732.585 tangkai, dan gladiol 1.412.553 tangkai [1].

Bunga krisan berwarna kuning dan putih saat ini menempati peringkat teratas dan mendominasi pasar florikultura, diikuti warna hijau, merah, ungu, oranye, dan warna lainnya. Namun, kendala yang ditemui pada varietas krisan impor yang berwarna putih dan kuning tersebut agak rentan penyakit karat (*Puccinia horiana* Henn), di antaranya varietas “Fiji Putih” dan “Fiji Kuning”. Varietas-varietas tersebut masih bernilai komersial. Meskipun rentan penyakit karat, petani bunga krisan tetap membudidayakannya karena masih terbatasnya bunga krisan sejenis yang resisten terhadap penyakit karat. Selain itu, penyakit karat dapat ditanggulangi dengan fungisida. Padahal, penggunaan fungisida yang berlebihan berisiko tinggi bagi keselamatan manusia, lingkungan, ternak, dan mikroorganisme yang berguna.

Hibridisasi krisan secara konvensional yang dilakukan selama ini memerlukan waktu relatif lama dengan tingkat keberhasilan rendah karena terkendala oleh pengaruh *selfincompatibility*, khususnya untuk menghasilkan tipe bunga dekoratif dan resisten penyakit karat [2]. Pada persilangan antara varietas, terdapat kemungkinan hilangnya karakter-karakter yang penting sehingga nilai komersial turunannya makin menurun. Induksi mutasi digunakan untuk mempercepat perakitan varietas unggul krisan tahan penyakit karat dan disukai konsumen secara efektif karena teknik ini hanya mengubah satu atau beberapa karakter tanpa merusak karakteristik utama varietas asalnya [3].

Berdasarkan hasil penelitian Becker dkk., [4] diketahui bahwa terdapat paling sedikit 7 gen resisten (dan 7 gen avirulen) pada tanaman krisan yang mengendalikan ketahanan terhadap penyakit karat *Puccinia horiana* Henn. Hal ini menunjukkan



betapa rumitnya struktur patotipe ras tersebut, mengingat karakter ketahanan dapat patah oleh serangan strain baru patogen. Selain itu, industri florikultura yang sangat dinamis dan cenderung berubah sesuai dengan selera konsumen, perlu perakitan varietas krisan unggul yang tahan penyakit karat secara berkesinambungan melalui program pemuliaan yang tepat dan cepat. Ketergantungan terhadap varietas impor akan melemahkan daya saing industri florikultura nasional. Oleh karena itu, varietas yang dikomersialkan harus berasal dari hasil perakitan dalam negeri sendiri.

Tujuan penelitian ialah mendapatkan varietas krisan tahan penyakit karat dari varietas asalnya yang rentan melalui iradiasi sinar Gamma.

METODE PERCOBAAN

Penelitian dilakukan di laboratorium dan rumah kaca IP2TP Cipanas, Balai Penelitian Tanaman Hias (1.100 mdpl). Penelitian berlangsung sejak bulan Maret 2016 hingga April 2018. Tahun pertama dilakukan subkultur dan multiplikasi planlet pascairadiasi hingga populasi generasi MV_4 . Kemudian, planlet diaklimatisasi dan diskrining terhadap penyakit karat. Satu populasi generasi MV_5 yang resisten penyakit karat hasil skrining dijadikan tanaman induk. Tahun kedua dilakukan perbanyakan secara vegetatif hingga populasi generasi lanjut (MV_7). Kemudian, benihnya ditanam di lapang hingga berbunga untuk evaluasi organ vegetatif dan generatif pada empat populasi krisan generasi lanjut tersebut.

Bahan dan Alat

Bahan tanaman yang digunakan adalah varietas krisan berbunga putih (Fiji Putih & Jimla) dan kuning (Fiji Kuning & Sunny) yang diperoleh dari kebun koleksi Plasma Nutfah Balithi. Planlet diinduksi dari eksplan nodus batang menggunakan media $\frac{1}{2}MS$ tanpa hormon. Kalus dibentuk dari daun planlet yang dikultur dalam media induksi kalus $\frac{1}{2}MS$ dengan komposisi hormon 1 ppm BA + 0.5 ppm 2,4-D + 0.5 ppm IAA. Iradiasi dilakukan pada planlet (Fiji putih, Fiji Kuning, dan Sunny) dengan kisaran dosis 15–45 Gy (interval 5 Gy). Iradiasi varietas Jimla dilakukan pada eksplan kalus dengan dosis 5, 10, dan 15Gy. Semua proses iradiasi menggunakan alat *gamma cell* tipe Ispasena di Laboratorium Patir ORTN, Pasar Jumat, Jakarta (50m dpl).

Tata Kerja

Pasca-iradiasi dilakukan multiplikasi pada eksplan hingga populasi generasi MV_4 di Laboratorium IP2TP Cipanas. Aklimatisasi dan skrining penyakit karat dilakukan pada populasi planlet generasi MV_4 . Satu populasi yang resisten penyakit karat dijadikan tanaman induk (MV_5). Dari tanaman induk, dihasilkan benih populasi generasi lanjut (MV_7), dan ditanam di lapang untuk evaluasi organ vegetatif dan generatif.

Perlakuan skrining penyakit karat dilakukan pada semua populasi generasi MV_4 di rumah lindung IP2TP Cipanas. Digunakan seleksi massa, yaitu penanaman terhadap



semua planlet untuk setiap populasi hasil mutasi sinar gamma. Di sekeliling area pertanaman planlet hasil mutasi, ditanami varietas rentan sebagai sumber inokulum.

Pengamatan insidensi penyakit karat dilakukan pada umur 2,5 bulan pascaaklimatisasi planlet. Tiga kriteria ketahanan terhadap penyakit karat, yaitu resisten bila nilai IP (intensitas karat daun) < 10%, agak resisten bila nilai IP > 10% tetapi kurang dari 20%, dan rentan bila nilai IP > 20% [5]. Intensitas penyakit karat dihitung dengan rumus.

$$IP = \frac{\sum(v \times n)}{(Z \times N)} \times 100\%$$

di mana:

IP = intensitas karat daun (%);

v = skala kerusakan tiap kategori serangan;

n = jumlah tanaman tiap kategori serangan;

Z = skala tertinggi dari kategori serangan;

N = jumlah tanaman sampel yang diamati.

Skala kerusakan pada tiap kategori serangan ditentukan sebagai berikut.

Tabel 1. Kriteria Ketahanan Terhadap Penyakit Karat Pada Berbagai Skala

Skala	Kriteria
0	Tanaman tidak terinfeksi <i>P. horiana</i> Henn.
1	Kerusakan sangat ringan. Penyakit karat terbatas pada daun-daun bawah dengan kerusakan tidak lebih dari 5% luas permukaan daun.
2	Kerusakan ringan. Penyakit karat terbatas pada daun-daun bawah dengan kerusakan antara 6–10% luas permukaan daun.
3	Kerusakan sedang. Penyakit karat dijumpai pada daun-daun bawah dan tengah dengan kerusakan antara 11–20% luas permukaan daun.
4	Kerusakan berat. Penyakit karat dijumpai pada daun-daun bawah, tengah, dan atas dengan kerusakan antara 21–40% luas permukaan daun.
5	Kerusakan sangat berat. Penyakit karat dijumpai pada daun-daun bawah, tengah, dan atas dengan kerusakan antara 41–80% luas permukaan daun.

Evaluasi organ vegetatif dan generatif dilakukan pada 4 populasi krisan hasil mutasi pada generasi MV₁, yaitu FP-15 Gy, FK-20 Gy, SN-45 Gy, dan JL-5 Gy. Digunakan rancangan bersekat *augmented design*, yaitu penanaman terhadap semua benih (stek berakar) yang tersedia pada setiap populasi. Lahan pertanaman diolah dengan cangkul, bongkahan tanah yang keras digemburkan, lahan diratakan, lalu direndam dengan air selama 7–10 hari. Bedengan dibuat dengan lebar 1 m, dan panjang disesuaikan dengan kondisi rumah plastik. Pada lokasi pertanaman tersebut, terdapat 6 hamparan bedengan dengan jarak antara bedengan sekitar 50 cm. Setelah bedengan dibuat maka di atas bedengan ditaburkan pupuk kandang/bokashi dengan



dosis 20–30 ton/ha. Pupuk dasar diaduk secara merata di atas bedengan. Sehari sebelum ditanam ditaburkan pupuk anorganik berupa NPK (15-15-15) sebanyak 1 ton/ha. Selanjutnya, dihindarkan jaring penegak yang sekaligus berfungsi sebagai ukuran jarak tanam, yaitu 11,25cm x 11,25cm atau populasi 64 tanaman/m². Selama 4–5 minggu awal pertumbuhan, pertanaman diberi sinar lampu tambahan sebagai *nite break*. Penyinaran tambahan dilakukan selama 2–4 jam setiap malam. Selanjutnya penyinaran lampu dihentikan dan dianggap sebagai akhir dari periode vegetatif. Sejak penyinaran lampu sebagai *nite break* dihentikan hingga tanaman mulai berbunga dinyatakan sebagai *respon time*. Pengukuran terhadap bunga dilakukan saat mekar optimal. Observasi keunikan dilakukan pada individu-individu tanaman berdasarkan daftar karakter yang tercantum dalam pedoman uji BUSS untuk krisan dengan adendum baru [6],[7].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian

Perlakuan iradiasi sinar gamma pada planlet dilakukan pada 4 varietas krisan. Hasil penelitian tahun pertama, yaitu jumlah planlet pascairadiasi yang bertahan hidup (vigor), serta nilai intensitas dan kategori ketahanan penyakit populasi krisan hasil mutasi. Hasil penelitian tahun kedua ialah evaluasi organ vegetatif dan generatif pada populasi krisan generasi lanjut (MV₇) hasil skrining penyakit karat. Secara umum, pertanaman tumbuh baik dengan daun berwarna hijau dan vigor. Tidak ada gejala klorosis akibat kekurangan hara ataupun serangan penyakit. Selama pertumbuhannya, pertanaman tidak disemprot dengan fungisida, namun tetap dilakukan pengendalian terhadap hama. Hama yang menyerang pertanaman krisan, yaitu kutu daun (*aphid*), ulat pengorok daun (*Liriomyza*), dan tungau (*thrips*). Pemeliharaan selanjutnya dilakukan sebagaimana lazimnya untuk budi daya dan produksi bunga krisan potong.

Jumlah Planlet Vigor Pascairadiasi

Dua bulan pascairadiasi, diamati persentase planlet/kalus yang berwarna hijau dan masih vigor. Terdapat variasi planlet/kalus yang vigor pada keempat varietas krisan. Planlet varietas Fiji Putih yang vigor adalah perlakuan dosis sinar gamma 15, 20, 25, dan 30 Gy. Planlet Fiji Kuning masih vigor dari dosis 15, 20, 25, 30, hingga perlakuan dosis 35 Gy. Sementara itu, semua perlakuan dosis sinar gamma (15, 20, 25, 30, 35, 40, dan 45 Gy) pada planlet varietas Sunny masih berwarna hijau dan vigor. Sebaliknya, pada kalus varietas Jimla, hanya perlakuan dosis 5 Gy yang tampak masih vigor dan berwarna hijau kekuningan. Keragaan kalus varietas Jimla pada perlakuan dosis 10 dan 15 Gy mulai menguning dan tunas tidak bertumbuh. Berdasarkan fenomena ini, dapat dinyatakan bahwa setiap varietas krisan memiliki radiosensitivitas yang tidak sama, meskipun status eksplan yang diiradiasi tidak berbeda. Jika dibandingkan eksplan planlet maka eksplan kalus memiliki radiosens-



sitivitas yang lebih tinggi. Dengan kata lain, dosis sinar gamma yang bersifat *lethal* pada eksplan planlet lebih tinggi daripada eksplan kalus. Hasil yang sama juga terjadi pada eksplan krisan varietas Puspita Nusantara yang diradiasi sinar gamma. Nilai LD_{50} pada kalus dan planlet P. Nusantara yang diradiasi sinar gamma, yaitu 7,5–8Gy dan 30–32Gy [8].

Terhadap eksplan hasil iradiasi sinar gamma yang vigor dan masih hidup segera dilakukan subkultur dan multiplikasi hingga populasi generasi MV_4 . Jumlah botol kultur dan jumlah planlet populasi generasi MV_4 dari setiap varietas krisan dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Botol Kultur Berisi Planlet Generasi MV_4 dari Setiap Varietas

Varietas (dosis sinar gamma)	Jumlah botol kultur generasi MV_4	Jumlah planlet generasi MV_4
Fiji kuning (15, 20, 25, 30, dan 35 Gy)	955	4.820
Fiji Putih (15, 20, 25, dan 30 Gy)	428	2.340
Sunny (15, 20, 25, 30, 35, 40, dan 45 Gy)	479	2.950
Jimla (5 Gy)	53	316

Intensitas dan Kategori Ketahanan Penyakit Karat

Selanjutnya, dilakukan aklimatisasi dari setiap perlakuan dosis sinar gamma. Botol kultur berisi planlet generasi MV_4 dikeluarkan dari laboratorium dan ditempatkan di rumah lindung selama 3 hari sebagai perlakuan “hardening dalam proses aklimatisasi. Keragaan tanaman selama proses aklimatisasi di rumah plastik IP2TP Cipanas dapat dilihat pada Gambar 1. Postur tanaman saat aklimatisasi terlihat relatif kecil dengan daun-daun yang berukuran 1–2cm (Gambar 1a). Gambar 1b menunjukkan keragaan tanaman pada umur 1 bulan pascaaklimatisasi dengan daun-daun yang agak besar berukuran 3–4 cm. Pada fase pertumbuhan ini, ditanam pula stek berakar dari varietas krisan rentan sebagai sumber inokulum. Selanjutnya, pada umur tanaman 2,5 bulan pascaaklimatisasi dengan ukuran daun sekitar 5–6 cm, dilakukan pengamatan jumlah pustule karat pada setiap helaian daun (Gambar 1c). Hasil penilaian intensitas serangan dan kategori ketahanan penyakit karat pada planlet teraklimatisasi berbagai perlakuan varietas dan dosis sinar gamma disajikan dalam Tabel 2.



Keterangan: (a) postur tanaman saat aklimatisasi dengan daun berukuran 1–2 cm; (b) keragaan tanaman umur 1 bulan dengan daun berukuran 3–4 cm; (c) jumlah pustule karat pada setiap helaian daun

Gambar 1. Keragaan pertanaman krisan fase aklimatisasi dan skrining penyakit karat di rumah lindung IP2TP Cipanas.

Tabel 2. Intensitas serangan dan kategori ketahanan penyakit karat pada planlet teraklimatisasi pada berbagai varietas dan dosis sinar gamma.

Varietas & dosis sinar gamma (Gy)	Intensitas penyakit karat (%)	Ketahanan penyakit karat (<i>Puccinia horiana</i>) (kategori)
FP-15	11	M
FP-25	17	M
FP-30	14	M
FP-0	22	S
JM-5	5	R
JM-0	20	S
FK-15	5	R
FK-20	9	R
FK-25	18	M
FK-35	19	M
FK-0	22	S
SN-15	12	M
SN-20	15	M
SN-25	24	S
SN-30	40	S
SN-35	42	S
SN-40	39	S
SN-45	9	R
SN-0	66	S

Keterangan: FP = Fiji Putih; JM = Jimla; FK = Fiji Kuning; SN = Sunny; R = resisten; M = agak resisten; S = rentan.

Dari Tabel 2 tersebut, terdapat perbedaan tingkat serangan penyakit karat pada perlakuan varietas dan dosis sinar gamma. Secara umum, populasi tanaman hasil mutasi memiliki intensitas serangan penyakit karat yang lebih rendah dibandingkan tanaman kontrol. Hal ini menunjukkan adanya perbaikan karakter ketahanan penyakit karat pada tanaman krisan yang diiradiasi sinar gamma. Meskipun demikian, perbaikan karakter ketahanan penyakit karat pada varietas krisan bersifat acak untuk setiap varietas dan dosis sinar gamma. Oleh karena itu, untuk seleksi ketahanan



penyakit karat diperlukan perlakuan berbagai tingkat dosis sinar gamma pada eksplan krisan. Pada penelitian ini, penilaian pustul karat dilakukan pada populasi planlet teraklimatisasi (generasi MV_4). Diharapkan sel-sel yang membangun tanaman utuh pada populasi krisan generasi MV_4 tersebut telah solid. Selain itu, penilaian pustul karat pada populasi planlet generasi MV_4 saat aklimatisasi dapat mempersingkat waktu skrining dan juga mengurangi jumlah benih terseleksi yang akan dijadikan tanaman induk.

Pada varietas Fiji Putih, karakter ketahanan penyakit karat menjadi lebih baik pada perlakuan semua dosis sinar gamma (15, 25, dan 30 Gy) dibandingkan kontrol. Varietas asalnya yang semula rentan menjadi agak resisten pada populasi tanaman Fiji Putih hasil mutasi yang diberi perlakuan sinar gamma dosis 15, 25, dan 30 Gy. Varietas Fiji kuning yang mendapat perlakuan sinar gamma pada dosis 15 dan 20 Gy menjadi resisten dan yang mendapat perlakuan dosis sinar gamma 25 dan 35 Gy menjadi agak resisten. Perbaikan terhadap karakter ketahanan penyakit karat sangat nyata pada varietas Fiji Kuning ini yang semula rentan. Bahkan, beberapa individu dalam populasi tanaman hasil mutasi dapat dikatakan imun karena tidak ditemukan satu pustule karat pun pada daun-daunnya. Pada varietas Sunny, populasi tanaman krisan pada perlakuan dosis sinar gamma 45 Gy menjadi resisten, dan pada dosis 15 dan 20 Gy menjadi agak resisten. Sementara itu, pada perlakuan dosis sinar gamma lainnya (25, 30, 35, dan 40 Gy) tetap rentan, seperti varietas asalnya (varietas Sunny). Perbaikan karakter ketahanan penyakit karat pada krisan varietas Jimla hasil mutasi sangat jelas terlihat. Populasi tanaman mutan hasil iradiasi kalus varietas Jimla dengan dosis 5 Gy menjadi resisten dibandingkan tanaman asalnya yang rentan.

Penyakit karat merupakan patogen biotrof yang tumbuh pada jaringan tanaman dan menyerap nutrisi dari sel inang [9]. Pada bagian permukaan daun krisan yang terserang karat akan terlihat pustul berwarna gelap yang berisi teliospora. Pada kondisi lembab akan dihasilkan basidiospora yang dapat tersebar oleh angin/percikan hujan dan menginfeksi daun-daun dengan gejala pustul karat berwarna putih. Secara umum, terdapat dua kelompok penyakit karat pada krisan, yaitu karat putih yang disebabkan oleh *Puccinia horiana* Henn dan karat cokelat yang ditimbulkan oleh *P. chrysanthemi*. Serangan *P. horiana* lebih berbahaya karena merusak jaringan dan kematian secara permanen [4]. Upaya perlu dilakukan untuk mendapatkan tanaman krisan yang tahan penyakit karat karena kerusakan pada daun dan batang akan menurunkan kualitas dan hasil bunga. Petani mengendalikan penyakit karat pada krisan dengan menggunakan pestisida. Hal ini sangat berbahaya karena penggunaan pestisida berlebihan dapat mencemari lingkungan dan berisiko terhadap keselamatan manusia, ternak, dan organisme liar yang berguna.

Setiap tanaman memiliki sistem ketahanan dasar terhadap serangan penyakit berupa barrier fisik (dinding sel, epidermis, kutikula wax, dan suberin) dan ketahanan terimbas (*induced resistance*). Barrier fisik pada permukaan epidermis termasuk ukuran, lokasi, dan bentuk stomata. Pada tanaman citrus yang resisten *X. campestris*



memiliki ukuran stomata yang kecil. Tanaman gandum yang tahan penyakit karat terkait dengan proses membuka dan menutup stomata. Ketahanan terimbas adalah aktivitas tanaman sehubungan dengan mekanisme pertahanan terhadap agensia yang berbahaya [10]. Pengimbasan ketahanan dalam tanaman didasarkan atas pengaktifan potensi genetik ketahanan yang dapat bersifat lokal atau sistemik. Adanya ketahanan terimbas mengakibatkan berkurangnya gejala penyakit dan terjadinya perubahan faktor-faktor biokimia dalam tanaman, seperti produksi senyawa kimia beracun, enzim pendegradasi patogen, peluruhan sel yang dekat dengan daerah terinfeksi, dan pembentukan papilae [11]. Beberapa genotipe krisan yang tahan penyakit karat mungkin terkait dengan sistem pertahanan dasar maupun ketahanan terimbas [12].

Salah satu senyawa kimia yang bertanggung jawab pada pertahanan tanaman adalah fenol. Fenol dihasilkan dari lintasan asam sikimat dan asam malonat dalam tanaman. Beberapa senyawa yang termasuk fenol, yaitu flavonoid, antosianin, fitoaleksin, tanin, lignin, dan furanokumarin [13]. Kandungan fenol dalam tanaman stroberi meningkat pada tanaman yang tahan terhadap racun *Rhizoctonia fragariae*, dan tunas yang terseleksi juga lebih tahan terhadap *Botrytis cinerea* [14][15]. Pada tomat liar yang tahan hama dan penyakit, ditemukan kandungan fenol yang lebih tinggi daripada tomat budi daya. Tanaman anggur (*Vitis* sp.) yang tahan terhadap embun tepung (*dowmy mildew*) memiliki kandungan total fenol yang lebih tinggi ($\mu\text{g}/100 \text{ mL}$ gallic acid) daripada tanaman yang peka [16]. Kandungan total fenol dan aktivitas peroxidase berkorelasi dengan ketahanan tanaman kentang terhadap *Alternaria solani*. Tanaman kentang yang tahan memiliki kandungan total fenol yang lebih banyak dan aktivitas peroksidase yang lebih tinggi [17]. Fitoaleksin adalah isoflavonoid dengan sifat antibiotik dan antifungi yang dihasilkan sebagai respons pada serangan patogen. Molekul beracun ini merusak metabolisme patogen atau struktur seluler patogen spesifik, misalnya, medicarpin dihasilkan alfalfa, rishitin dihasilkan tomat dan kentang, camalexin dihasilkan *arabidopsis thaliana*. Nampaknya, kandungan fenol tanaman merupakan salah satu parameter ketahanan tanaman dan dapat digunakan untuk menyeleksi ketahanan. Ketahanan merupakan karakter kuantitatif maka dengan seleksi akan lebih banyak diperoleh varietas-varietas yang tahan terhadap penyakit [18],[19]. Hasil seleksi *in vitro* pada galur-galur mutan krisan menunjukkan perbaikan pada karakter ketahanan terhadap penyakit *Septoria obesa* Syd. [20].

Mutagenesis fisik dengan sinar gamma menyebabkan perubahan secara acak inti DNA atau organel sitoplasma yang mengakibatkan mutasi gen, kromosom, atau genom [21]. Gen yang bermutasi dapat mengubah resistensi dasar menjadi resistensi terimbas oleh patogen spesifik melalui sintesis racun dalam tanaman. Dengan mutasi sinar gamma, peluang tanaman krisan memiliki fenomena hipersensitif sangat besar karena penyakit karat termasuk patogen biotrofik yang hanya dapat hidup pada sel hidup [21]. Beberapa tanaman komersial yang tahan penyakit telah banyak dihasilkan melalui induksi sinar gamma, di antaranya tebu yang resisten terhadap penyakit karat,



stroberi yang dapat hidup di bawah tekanan *Phytophthora cactorum*, gandum tahan penyakit karat kuning pada daun dan batang [22],[23]. Stek anyelir yang diiradiasi menggunakan sinar gamma lebih tahan terhadap *Fusarium oxysporum* f sp. *dianthii* telah dilaporkan oleh Schum & Preil [24].

Induksi mutagenesis merupakan metode yang baku untuk perbaikan tanaman, melalui perubahan gen tanaman dengan memberi perlakuan pada biji atau tanaman yang diperbanyak vegetatif. Di berbagai negara maju, teknik mutasi telah digunakan secara berkelanjutan untuk menghasilkan mutan unggul baru dari berbagai tanaman hias yang memiliki genom kompleks dengan karakter yang sesuai preferensi pasar [25]. Pemuliaan mutasi telah berkontribusi besar terhadap perbaikan tanaman di dunia [26],[27]. Dalam database IAEA, dilaporkan lebih dari 3.000 varietas mutan telah dilepas di dunia, di antaranya mutan-mutan tanaman hias. Penggunaan teknik nuklir lebih murah dan cepat, serta lebih ideal dibandingkan teknik pemuliaan lainnya [28],[29].

Evaluasi Organ Vegetatif dan Generatif

Populasi tanaman yang dievaluasi organ vegetatif dan generatif merupakan populasi generasi lanjut (MV_7). Populasi ini berasal dari perbanyakan tanaman induk (*mother stock*) populasi generasi MV_5 hasil skrining penyakit karat. Empat populasi yang ditanam di lapang hingga berbunga adalah FP-15 Gy, FK-20 Gy, SN-45 Gy, dan JL-5 Gy. Bagian pucuk setiap tanaman (MV_4) yang resisten penyakit karat diambil dan diakarkan, kemudian dijadikan tanaman induk (MV_3). Pada tanaman induk yang telah rimbun dengan panjang tunas lateral telah mencapai sekitar 8–10 cm, tunas pucuknya dipanen. Tunas pucuk sepanjang 6–8 cm dipotong dari setiap tunas lateral pertanaman krisan induk. Stek pucuk kemudian diakarkan pada baki berisi media kuntan dan *cocopeat*. Bagian pangkal stek pucuk diberi hormon perangsang akar. Setelah 12–14 hari, stek pucuk akan berakar dan siap ditanam di lapang. Benih berupa stek berakar ini (umur 18–20 hari setelah stek pucuk diakarkan) merupakan populasi generasi MV_7 dan kemungkinan tidak banyak terjadi efek khimera pada organ vegetatif dan generatif setiap individu. Keragaan benih teraklimatisasi hasil skrining penyakit karat (MV_4) dengan 4–5 helai daun sejati dan dijadikan tanaman induk dapat dilihat dalam Gambar 2a. Gambar 2b memperlihatkan keragaan pertanaman induk untuk produksi benih generasi lanjut, dan populasi pertanaman krisan generasi MV_7 fase generatif untuk evaluasi organ vegetatif dan generatif disajikan dalam Gambar 2c.



Keterangan: Keragaan benih teraklimatisasi hasil skrining penyakit karat dengan 4–5 helai daun sejati (a); keragaan pertanaman induk untuk produksi benih generasi lanjut (b), dan populasi pertanaman krisan generasi MV₇ untuk evaluasi organ vegetatif dan generatif (c).

Gambar 2. Evaluasi Organ Vegetatif dan Generatif

Hasil pengamatan organ vegetatif dan generatif pada saat tanaman berbunga optimal dapat dilihat dalam Tabel 3 dan 4. Nilai kuantitatif organ vegetatif dan generatif populasi hasil mutasi keempat varietas krisan menunjukkan rentang nilai yang lebih lebar dibandingkan populasi tanaman kontrol. Dengan kata lain, populasi krisan hasil mutasi cenderung lebih heterogen dibandingkan populasi tanaman kontrol yang homogen. Keragaman yang lebih besar pada populasi krisan hasil mutasi memang diharapkan dalam penelitian ini. Proses seleksi organ vegetatif dan generatif pada individu yang diinginkan dapat dilakukan pada populasi ini. Hal ini dikarenakan setiap individu dalam populasi krisan hasil mutasi tersebut diduga telah solid. Jumlah karakter yang berbeda dari setiap individu dalam populasi krisan hasil mutasi tidak diuraikan di sini. Meskipun demikian, beberapa organ generatif yang menunjukkan perbedaan pada setiap individu dapat dilihat dalam Gambar 3–5.

Tabel 3. Data hasil pengamatan organ vegetatif empat populasi krisan hasil mutasi sinar gamma dan tanaman kontrol

Organ Vegetatif	FP (15 Gy)	FP (0 Gy)	FK (20 Gy)	FK (0 Gy)	JL (5 Gy)	JL (0 Gy)	SN (45 Gy)	SN (0 Gy)
Panjang daun (cm)	11–15	12–13	10–15	11–13	9–14	10–12	9–14	10–12
Lebar daun (cm)	6–9	7–8	4,5–9,0	7–8	5,5–8,5	6–7	5–8,5	6–7
Panjang ruas (cm)	1,2–2,0	1,3–1,5	1,5–2,5	1,7–2,0	2,0–3,5	2,5–3,0	1,2–3,8	1,9–2,5
Jumlah ruas (ruas)	33–42	36–40	30–44	32–40	34–46	37–42	27–39	30–33
Diameter batang (cm)	0,6–1,3	0,7–0,9	0,6–1,2	0,7–0,9	0,5–1,1	0,6–0,8	0,5–1,1	0,6–0,8
Warna daun	Yellow Green 147A	Green 137A	Yellow Green 147A	Green 137A	Yellow Green 147A	Green 137A	Yellow Green 147A	Green 137A

Keterangan: FP (15 Gy): populasi krisan Fiji Putih dosis 15Gy; FK (20 Gy): populasi krisan Fiji Kuning dosis 20Gy; JL (5 Gy): populasi krisan Jimla dosis 5Gy; SN (45 Gy): populasi krisan Sunny dosis 45Gy. FP (0 Gy): Tanaman Fiji Putih Kontrol; FK (0 Gy): Tanaman Fiji Kuning Kontrol; JM (0 Gy): Tanaman Jimla Kontrol; SN (0 Gy): Tanaman Sunny Kontrol.



Tabel 4. Data hasil pengamatan organ generatif empat populasi krisan hasil mutasi sinar gamma dan tanaman kontrol

Organ Generatif	FP (15Gy)	FP (0 Gy)	FK (20 Gy)	FK (0 Gy)	JL (5 Gy)	JL (0 Gy)	SN (45 Gy)	SN (0 Gy)
Diameter bunga (cm)	9–15	9–11	9–15	9–12	9–13	9–11	8–13,5	9–11
Panjang tangkai bunga (cm)	2–9	4–6	2–9	4–6	3–9	4–6	3–9	4–6
Jumlah bunga pita (helai)	210–470	300–350	230–485	300–340	180–330	220–280	120–290	190–210
Jumlah bunga tabung (butir)	5–190	2–25	9–170	0–23	0–50	0–16	10–205	12–35
Diameter bunga tabung (cm)	0–2,0	0–0,3	0,2–1,8	0–0,5	0–0,7	0–0,3	0,2–2,1	0,2–0,5

Keterangan: FP (15Gy): populasi krisan Fiji Putih dosis 15Gy; FK (20Gy): populasi krisan Fiji Kuning dosis 20Gy; JL (5Gy): populasi krisan Jimla dosis 5Gy; SN (45Gy): populasi krisan Sunny dosis 45Gy. FP (0Gy): Tanaman Fiji Putih Kontrol; FK (0Gy): Tanaman Fiji Kuning Kontrol; JM (0Gy): Tanaman Jimla Kontrol; SN (0Gy): Tanaman Sunny Kontrol.

Dalam Gambar 3, terlihat adanya variasi bentuk kuntum bunga pada populasi krisan hasil mutasi dari varietas Fiji Putih (baris atas), varietas Fiji Kuning (baris tengah), dan varietas Sunny (baris bawah). Semua varietas asal Fiji Putih (Gambar 3E), Fiji Kuning (Gambar 3J) dan Sunny (Gambar 3O) memiliki bentuk kuntum bunga dekoratif. Dikatakan sebagai bentuk kuntum bunga dekoratif karena baris terluar maupun baris terdalam kuntum dipenuhi oleh bunga pita (*ray floret*). Kumpulan bunga tabung (*disc floret*) tidak terlihat karena tertutupi oleh bunga pita. Pada populasi krisan hasil mutasi, terdapat bentuk kuntum bunga semidekoratif di samping bentuk dekoratif. Pada kuntum bunga yang berbentuk semidekoratif, kumpulan bunga tabung (*disc floret*) terlihat jelas di pusat kuntum dan tidak tertutupi oleh bunga pita. Bentuk kuntum bunga semidekoratif merupakan variasi baru dari semula yang bentuknya dekoratif. Bentuk kuntum bunga semidekoratif pada mutan Fiji Putih terlihat dalam Gambar 3C. Sementara itu, mutan varietas Fiji Kuning terdapat pada Gambar 3G, walaupun bunga tabungnya kurang terlihat jelas karena pengambilan fotonya dari arah depan. Pada populasi krisan hasil mutasi varietas Sunny, juga terdapat bentuk kuntum ganda (Gambar 3M), selain semidekoratif (Gambar 3L) dan dekoratif (Gambar 3K dan 3N). Bentuk kuntum ganda berbeda dengan bentuk kuntum semidekoratif berdasarkan jumlah baris bunga pita. Pada bentuk kuntum bunga ganda, terdapat sekitar 5–6 baris bunga pita. Sementara itu, pada bentuk kuntum bunga semidekoratif terdapat lebih dari 6 baris bunga pita.



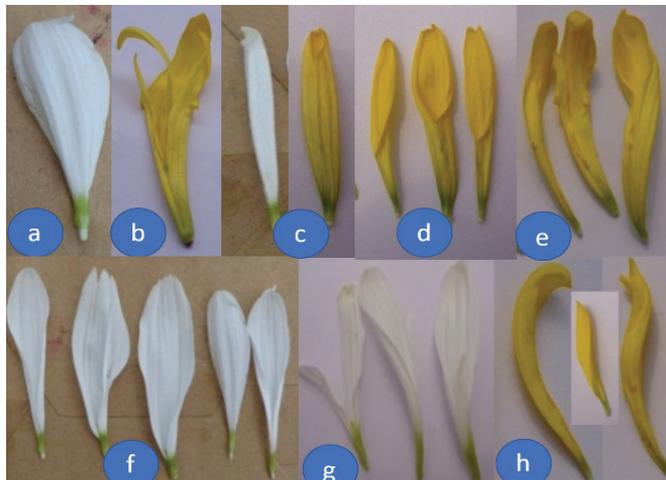
Gambar 3. Keragaan kuntum bunga pada populasi krisan hasil mutasi varietas Fiji Putih (baris teratas), varietas Fiji Kuning (baris tengah), dan varietas sunny (baris terbawah).

Varietas asal Fiji Kuning memiliki warna bunga kuning muda (Yellow 5A, Gambar 3J), sedangkan populasi krisan hasil mutasi memiliki warna kuning yang lebih tua (Yellow 7A, Gambar 3H; Yellow 9A, Gambar 3F dan 3G; dan Yellow 12A, Gambar 3I). Sebaliknya, pada populasi krisan hasil mutasi varietas Sunny terdapat warna kuning sedang (Yellow 7A, Gambar 3M) dibandingkan warna kuning varietas asal yang lebih tua (Yellow 12A, Gambar 3O). Warna kuning merupakan warna akhir dari peristiwa mutasi dan tidak mungkin berubah lagi menjadi warna lain [24]. Hasil penelitian ini menunjukkan, meskipun tidak terdapat perubahan warna kuning menjadi warna lain, namun telah terjadi perubahan pada intensitas warna kuningnya. Dari semula berwarna kuning muda, berubah menjadi kuning tua dan berlaku sebaliknya. Intensitas warna kuning yang lebih lemah atau lebih kuat mungkin terkait dengan jumlah antosianin, Xanthin yang terkandung dalam vakuola sel petala bunga krisan hasil mutasi [24].

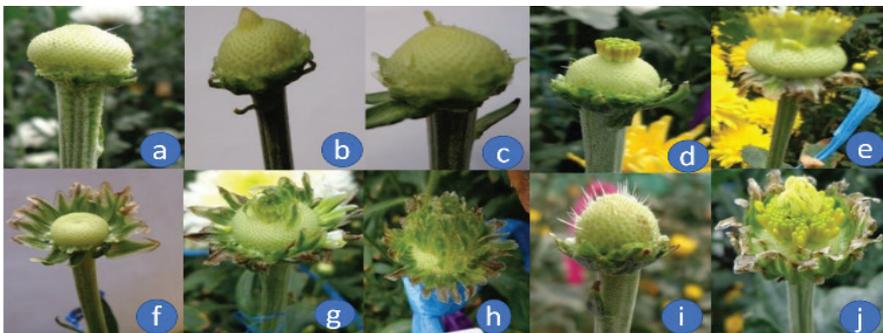
Bentuk kuntum bunga dekoratif terdapat pada populasi krisan hasil mutasi Fiji Putih (Gambar 3A, 3B, dan 3D). Meskipun, Fiji Putih memiliki bentuk kuntum bunga dalam kategori yang sama dengan varietas asalnya (Gambar 3E), namun keragaan bunganya berbeda. Perbedaan ini dikarenakan ketidaksamaan bentuk organ petala yang tersusun pada masing-masing kuntum bunga. Organ petala yang menyusun kuntum bunga krisan varietas asal Fiji Putih (Gambar 3E) berbentuk pita agak melekok ke dalam dan ujungnya agak meruncing. Sementara itu, organ petala yang menyusun kuntum bunga krisan populasi Fiji Putih hasil mutasi berbentuk pita yang melebar dan ujungnya membulat (Gambar 3A). Pada krisan mutan Fiji Putih lainnya, terlihat organ petala menyerupai pita agak melekok keluar dengan bentuk ujungnya membulat (Gambar 3B) atau meruncing (Gambar 3D). Selain perbedaan bentuk petala, juga terdapat perbedaan warna bunga pita baris terdalam. Bunga pita baris terdalam pada varietas asal Fiji Putih berwarna kuning (Gambar 3E). Sementara

itu, baris terdalam bunga pita pada populasi krisan Fiji Putih hasil mutasi berwarna hijau (Gambar 3B) atau hijau kekuningan (Gambar 3D). Perubahan warna kuning menjadi hijau dalam penelitian ini sejalan dengan pernyataan Maluszynski [26], dan kerap terjadi pada populasi krisan hasil mutasi.

Fenomena perbedaan bentuk bunga pita pada kuntum bunga krisan mutan Fiji Putih juga terjadi pada populasi krisan hasil mutasi varietas Fiji Kuning dan Sunny. Bahkan, pada populasi krisan hasil mutasi varietas Sunny, selain bentuk bunga pita yang membentang (tanpa tabung atau bertabung pendek), juga terdapat bunga pita yang bertabung sedang (Gambar 4D) dan panjang (Gambar 4C). Berbagai variasi bentuk bunga pita pada populasi krisan hasil mutasi varietas Fiji Putih, Fiji Kuning, dan Sunny dapat dilihat dalam Gambar 4.



Gambar 4. Keragaan Bunga Pita pada Populasi Krisan Hasil Mutasi



Gambar 5. Keragaan Cakram Bunga pada Populasi Krisan Hasil Mutasi

Cakram bunga varietas Fiji Putih, Fiji Kuning, Sunny, dan Jimla berbentuk kubah (Gambar 5A) dengan sedikit kumpulan bunga tabung di pusat cakram (Gambar 5D). Iradiasi sinar gamma mengakibatkan perubahan bentuk cakram, di antaranya kubah berputing (Gambar 5B), kerucut (Gambar 5C), dekok (Gambar 5F), dan



kubah tinggi (Gambar 5I). Selain itu, ditemukan pula cakram bunga krisan hasil mutasi yang mengandung satu bunga tabung (Gambar 5C) atau banyak bunga tabung (Gambar 5E). Kadang ditemukan sedikit kelopak bunga (Gambar 5G) atau banyak kelopak bunga (Gambar 5H) di atas cakram. Selain kelopak bunga, sering pula ditemukan bulu (Gambar 5I) di atas cakram bunga krisan hasil mutasi. Variasi bentuk cakram lebih banyak ditemukan pada populasi krisan varietas Jimla hasil mutasi sinar gamma daripada varietas lainnya. Hal ini mungkin terkait dengan asal eksplan yang diiradiasi. Pada varietas Jimla, eksplan yang diiradiasi berasal dari kalus, sedangkan pada ketiga varietas lainnya berasal dari planlet. Meskipun, tingkat dosis sinar gamma pada eksplan kalus hanya 5 Gy, namun sudah dapat mengubah karakter bentuk cakram. Hal ini memperjelas hasil penelitian sebelumnya bahwa radiosensitivitas eksplan asal kalus lebih tinggi dibandingkan eksplan asal planlet [30].

Induksi mutasi dengan sinar gamma menyebabkan perubahan genetik pada tanaman, di antaranya hasil panen lebih tinggi, warna bunga lebih beragam, lebih tahan penyakit, dan umur panen lebih genjah [31],[32]. Apabila individu mutan belum solid, yaitu ditemukan efek khimera pada petal bunga, organ daun, dan pedisel maka organ tersebut masih mungkin diregenerasikan melalui teknologi kultur jaringan. Oleh karena itu, keragaman genetik untuk perbaikan karakter dapat lebih ditingkatkan melalui kombinasi teknik kultur jaringan dan induksi mutasi [33],[34],[35]. Sementara itu, perbanyakkan secara konvensional pada organ-organ yang mengalami khimera tersebut tidak mungkin dapat dilakukan [35],[37],[38].

Semua individu tanaman mutan yang dihasilkan dalam penelitian ini bersifat unik. Namun, untuk dapat didaftarkan, harus memenuhi unsur BUSS, di antaranya seragam dan stabil. Meskipun tanaman telah “solid”, yaitu sel-sel yang membentuk tanaman mutan semuanya tidak tercampur lagi oleh sel tanaman asal, namun perlu diuji kestabilan karakter yang menjadi keunikannya. Oleh karena itu, individu tanaman yang potensial perlu diperbanyak terbatas untuk pengujian BUSS (Baru, Unik, Seragam, dan Stabil).

KESIMPULAN

1. Perbaikan karakter ketahanan penyakit karat pada krisan dapat dilakukan melalui iradiasi sinar gamma. Namun, perubahan gen rentan menjadi gen resisten pada tanaman mutan tidak dipengaruhi oleh dosis sinar gamma dan terjadi secara acak pada setiap varietas.
2. Karakter unik terhadap morfologi bunga dan bagian-bagiannya terjadi pada 4 varietas krisan hasil mutasi.
3. Jika eksplan planlet yang diiradiasi, perubahan terjadi pada bentuk kuntum bunga, bentuk bunga pita, dan degradasi intensitas warna bunga
4. Jika eksplan kalus yang diiradiasi maka perubahan terjadi pada bentuk cakram bunga dan variasi organ lainnya pada permukaan cakram bunga



DAFTAR PUSTAKA

- [01] Badan Pusat Statistik, "Statistik tanaman hias," Jakarta, 2019 [Online]. Tersedia: <https://www.bps.go.id/publication/2019/10/07/2f13c3a740d6d5b9f56e088b/statistik-tanaman-hias-indonesia-2018.html>
- [02] F. A. Langton dan K. E. Cockshull, "An Ideotype of Chrysanthemum (*C. Morifolium* Ramat.), dalam *Acta Horticulturae: 63.I International Symposium on Floriculture Plant Breeding and Genetics*, 2009.
- [03] S. Nagatomi, E. Miyahira, dan K. Degi, "Induction of flower mutation compared with chronic and acute gamma irradiation using tissue culture techniques in Chrysanthemum morifolium RAMAT," (*Ed. A Cadic.*) dalam *Proc. 19th Int' I Symposium improvement Ornamental Plants, Acta Hort*, 2000, doi: 10.17660/ActaHortic.2000.508.8.
- [04] M. De Backer dkk., "Identification and characterization of pathotypes in *Puccinia horiana*, a rust pathogen of Chrysanthemum X morifolium," *Eur. J. Plant Pathol*, vol. 130, pp. 325–338, Mar. 2011, doi: 10.1007/s10658-011-9756-8.
- [05] B. Marwoto dkk., "Pengendalian penyakit karat (*Puccinia horiana*) secara terpadu pada pembibitan krisan (*Dendranthema grandiflora*)," Kumpulan Laporan Hasil Penelitian Tanaman Hias. Balai Penelitian Tanaman Hias, Jakarta, pp. 111–122, 1999.
- [06] PVTTP, "Panduan umum pengujian kebaruan, keunikan, keseragaman dan kestabilan," Departemen Pertanian, Pusat Perlindungan varietas Tanaman, Dokumen PVT/PP/1/1, 21 Januari 2006, 34 halaman.
- [07] PVTTP, "Panduan pengujian individual (PPI) untuk krisan," Departemen Pertanian, Pusat Perlindungan varietas Tanaman, Dokumen PVT/PP/2/1, 21 Januari 2006, 20 halaman.
- [08] L. Sanjaya dkk., "Induksi mutasi sinar gamma pada krisan Puspita Nusantara," Laporan Tahunan, Balai Penelitian Tanaman Hias, [tidak dipublikasikan], 2015.
- [09] J. Glazebrook, "Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens," *Annu. Rev. Phytopathol.* vol. 43, no.1, pp. 205–227, Sep. 2005, doi: 10.1146/annurev.phyto.43.040204.135923.
- [10] C. Sumardiyono, "Ketahanan terimbas, kendala dan prospeknya dalam pengendalian penyakit tumbuhan," Pidato pengukuhan jabatan guru besar pada fakultas pertanian Universitas Gadjah Mada, Maret. 11, 2000.
- [11] B. C. Freeman dan G. A. Beattie, "An overview of plant defenses against pathogens and herbivores," *The Plant Health Instructor*, 2008, doi: 10.1094/PHI-I-2008-0226-01.
- [12] B. K. Banerji dan S. K. Datta, "Varietal differences in radiosensitivity of garden chrysanthemum," *The Nucleus*, vol. 36, no. 3, pp.114–117, 1993.
- [13] V. Lattazio, M. T. V. Lattazio, dan A. Cardinali "Role of phenolics in the resistance mechanisms of plants against fungal pathogens & Insects, dalam *Phytochemistry advances in Research, F. Imperato*, Ed., Kerala, India: Research Sign Post, pp. 23–67.
- [14] M. P. Filippone dkk., "Isolation and purification of a 316 Da preformed compound from strawberry (*Fragaria ananassa*) leaves active against plant pathogens," *FEBS Lett*, vol. 459, pp. 115–118, 1999.
- [15] H. J. Gooding, R. J. Mcnicol & D. Macintyre, "Methods of screening strawberries for resistance to *Sphaerotheca macularis* (wall ex Frier) and *Phytophthora cactorum* (Leb. and Cohn)," *J. Hort. Sci. Biotechnol*, vol. 56, no. 3, pp. 239–245, Jan. 1981, doi: 10.1080/00221589.1981.11514995.



- [16] R. R. C. Espino dan W. B. Nesbitt, "Phenolic compounds in downy mildew resistant and susceptible grapevines (*Vitis* sp.)," *Philipp. J. Crop Sci*, vol. 8, no.1, pp. 33–40, 1983.
- [17] H. Shahbazi dkk., "Biochemical evaluation of resistance responses of potato to different isolates of *Alternaria solani*," *Phytopathology*, vol. 100, no. 5, pp. 454–459, Mei 2010, doi: 10.1094/PHYTO-100-5-0454.
- [18] M. Thakur, D. R. Sharma dan S. K. Sharma, "In-vitro selection and regeneration of carnation (*Dianthus caryo-phyllus* L.) plants resistant to culture filtrate of *Fusarium oxysporum* f. sp. Dianthi," *Plant Cell Rep.*, vol. 20, no. 9, pp. 825–828, Feb. 2002, doi: 10.1007/s00299-001-0412-1.
- [19] R. Voorrips dkk., "QTL mapping of anthracnose (*Colletotrichum* spp.) resistance in a cross between *Capsicum annuum* and *C. chinense*," *Theor. Appl. Genet.*, vol. 109, *Plant Cell Rep.*, vol. 20, no. 9, pp. 825–828, Feb. 2002, doi: 10.1007/s00299-001-0412-1.
- [20] B. Kumar, S. Kumar, dan M. Thakur, "In vitro mutation induction and selection of *Chrysanthemum* (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev) Lines with improved resistance to *Septoria Obesa* Syd.," *Int. J. Plant Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 103–107, 2012. doi:10.5923/J.Plant.20120204.01.
- [21] D. I. Guest, J. F. brown, dan H. J. Ogle, Eds., *Plant Pathogens and plant diseases*, Australia: Rockvale, 1997, pp. 263–286.
- [22] M. M. Saber, M. H. Hussein, dan S. H. Ahmed. "Pathological and biochemical assessment of gamma-rays induced mutants for resistance to yellow rust in wheat," *Arab J. Of Biotechnology*, vol. 1, no. 1, pp. 59–68, 1998 (Abstracts.).
- [23] A. T. Neto dkk., "Plant height reduction and disease resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar IAC-18 by gamma radiation-induced mutations," *Brazillian J. Of Genetics*, vol. 19, no. 2, pp. 275–281, 1996.
- [24] A. Schum dan W. Preil, "Induced mutations in ornamental plants, dalam *Somaclonal and Induced mutations in Crop improvement*," Dordrecht: Springer, 1998, pp. 333–366.
- [25] S. M. Jain dan M. M. Spencer, "Biotechnology and mutagenesis in improving ornamental plants," dalam *Floriculture, ornamental, and plant biotechnology*, J. A. Teixeira da Silvae Eds., UK: Global Science Books, 2006, pp 589–600.
- [26] M. Maluszynski, B. S. Ahloowalia dan B. Sigurbjornsson, "Application of in vivo and in vitro mutation techniques for crop improvement," *Euphytica*, vol. 85, no. 1–3, pp. 303–315, Feb. 1995, doi: 10.1007/BF00023960.
- [27] T. B. Dao dkk., "In vitro mutagenesis of *Chrysanthemum* for breeding. (Short communication)," *Plant Mutat. Rep.*, vol 1, no. 2, Des. 2006,
- [28] S. Jain, "Mutagenesis in crop improvement under the climate change," *Romanian Biotechnological Letters*, vol. 15, no. 2, pp. 88–106, 2010.
- [29] Nagatomi dan Degi, "Mutation breeding of chrysanthemum by gamma field irradiation and in vitro culture, dalam *Induced plant mutations in the genomics Era*, Y. Shu, Ed., Rome, FAO of the United nations, 2008.
- [30] Sanjaya dkk., "Pengaruh berbagai dosis sinar gamma terhadap pertumbuhan planlet krisan *Fiji Yellow* dan *Sakuntala* serta informasi LD₅₀," Makalah poster dalam *Induced*



SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

plant mutations in the genomics Era, Y. Shu, Ed., Rome, FAO of the United nations, 2008. Malang, 5–7 November 2014.

- [31] A. Micke, B. Donini, dan M. Maluszynski, “Induced mutations for crop improvement,” *Mutation. Breed Rev., FAO/IAEA*, Vienna, no. 7, pp 1–41, 1990.
- [32] P. Crino dkk., “Genetic variability in tomato plants regenerated from irradiated cotyledons,” *J. Genet. Breed*, vol. 48, pp. 281–290, 1994.
- [33] S. M. Jain, “Creation of variability by mutation and tissue culture in improving plants,” *Acta Hort*, vol. 447, pp. 69–78, 1997.
- [34] Sanjaya, L. R. Kurniati, dan E. Febrianty, “Isolasi mutan khimer dari petal bunga krisan (*Chrysanthemum morifolium* RAMAT) varietas komersial, dalam Pros. Seminar Nasional Florikultura, Bogor, 4–5 Agustus 2004.
- [35] W. A. Qosim dkk., “Stabilitas parameter genetik mutan-mutan krisan generasi MV₃,” Lembaga Penelitian Universitas Padjadjaran Bekerjasama dengan Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Bagian Proyek Pengkajian Teknologi Pertanian Partisipatif Pusat, 53 hlm, 2000.
- [36] S. M. Jain, “Mutation-assisted breeding in ornamental plant improvement,” *Acta Hort*, vol. 714, pp. 85–98, 2006.
- [37] S. M. Jain, “Recent advances in plant tissue culture and mutagenesis,” *Acta Hort*, vol. 736, pp. 205–211, Mar. 2007, doi: 10.17660/ActaHortic.2007.736.18.
- [38] S. K. Datta dan D. Chakrabarty, “Management of chimera and in vitro mutagenesis for development of new flower color/shape and chlorophyll variegated mutants in *Chrysanthemum*, dalam *Induced Plant Mutations in the Genomics Era*, Y. Shu, Ed. 2009, pp. 303–305.