

Evaluasi Karakter Agro-morfologi Jengger Ayam (*Celosia cristata* L.) pada Genotipe Mutan M₃

Evaluation of Celosia cristata L. Agromorphological Traits in M₃ Mutant Genotypes

Nella Angelina Simanjuntak¹, Syarifah Iis Aisyah^{2*}, dan Waras Nurcholis³

¹Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor

²Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
(Bogor Agricultural University), Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

³Pusat Studi Biofarmaka Tropika, Institut Pertanian Bogor (Bogor Agricultural University)
Jl. Taman Kencana No.3, Kota Bogor, Jawa Barat 16128, Indonesia

Diterima 8 Maret 2020/Disetujui 17 April 2020

ABSTRACT

Celosia cristata L., namely jengger ayam, is an ornamental plant with a unique structure. The flower of *C. cristata* is shaped grains with small size; thus, the hybridization for increasing the diversity in this plant is challenging. One alternate technique for improving diversity is mutation induction by gamma rays. This study aimed to evaluate the variability of agro-morphological traits in seventeen M₃ mutant *C. cristata* genotypes at the Sabisa Farm garden. Agro-morphological characteristics were evaluated based on descriptors of the International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV) with modification. Analysis of variance was performed using SPSS 20.0, whereas a similarity analysis was performed using PBSTAT-CL 2.1. Significant variability among *C. cristata* genotypes ($p < 0.05$) was found for plant height and flower length. Three clusters based on agro-morphological traits were obtained from similarity analysis with the dissimilarity distance of 32%. The results indicated that the agro-morphology traits were able to differentiate the 17 genotypes of *C. cristata* studied, and therefore it can be used for further research development in plant breeding programs.

Keywords: agro-morphological, diversity, mutation breeding, similarity analysis

ABSTRAK

Celosia cristata L. atau jengger ayam merupakan tanaman hias dengan bentuk yang unik. Peningkatan keragaman *C. cristata* melalui teknik hibridisasi terkendala karena bunganya berbentuk bulir dan berukuran kecil sehingga menyulitkan proses kastrasi dan isolasi organ reproduksi. Induksi mutasi merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan keragaman. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan informasi keragaman karakter agro-morfologi pada 17 genotipe mutan M₃ jengger ayam hasil induksi mutasi sinar gamma di kebun percobaan Sabisa Farm. Karakter kualitatif dan kuantitatif yang terkait dengan agro-morfologi diamati berdasarkan deskriptor Union for The Protection of New Varieties of Plants (UPOV) yang dimodifikasi. Analisis ragam dilakukan menggunakan SPSS 20.0, sedangkan analisis kemiripan dengan menggunakan PBSTAT-CL 2.1. Keragaman signifikan antar genotipe *C. cristata* ($p < 0.05$) terdapat pada karakter tinggi tanaman dan panjang bunga. Tiga kelompok berdasarkan karakter agro-morfologi terbentuk dari analisis kemiripan pada koefisien ketidakmiripan 32%. Hasil mengindikasikan bahwa karakter karakter agro-morfologi dapat digunakan untuk membedakan 17 genotipe mutan M₃ jengger ayam yang diteliti, sehingga dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya dalam program pemuliaan tanaman.

Kata kunci: analisis kemiripan, agro-morfologi, keragaman, pemuliaan mutasi

PENDAHULUAN

Celosia cristata L., di Indonesia dinamai jengger ayam, merupakan tanaman bunga dari keluarga Amaranthaceae yang tumbuh menyebar di Amerika Selatan, Afrika dan Asia

(Sun *et al.*, 2011). Tekstur bunga yang menyerupai beludru dan bentuk bergelombang meningkatkan ketertarikan konsumen dalam memanfaatkan bunga ini sebagai bunga potong (Aisyah *et al.*, 2019). Kandungan kimia *C. cristata* terdiri dari antioksidan dan senyawa kimia seperti saponin, flavonoid dan betalain, dan glikosida fenol (Zhang *et al.*, 2016). *C. cristata* dimanfaatkan sebagai tanaman obat tradisional bagi masyarakat di Cina yang berfungsi untuk

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: syarifah@apps.ipb.ac.id

mengobati penyakit darah tinggi, kelumpuhan, katarak, keratitis, diabetes, *iridocyclitis*, *caligo corneae*, dan *sarcoptidosis*. Daun dan bunga tanaman ini dimanfaatkan sebagai sayuran di India, Afrika Barat dan Amerika Selatan. Tanaman ini juga dapat digunakan sebagai pewarna alami serta berpotensi sebagai bahan kosmetik untuk mencegah penuaan (Wang *et al.*, 2010; Sun *et al.*, 2011). Biji dan bunga tanaman jengger ayam merupakan bagian tanaman yang diketahui berpotensi sebagai obat.

Berdasarkan data dari Kementerian Pertanian sampai saat ini belum ada varietas tanaman jengger ayam baik yang dilepas maupun dilindungi. Selain itu, sebagai bunga potong, *C. cristata* memiliki berbagai kendala antara lain masa produksi bunga yang tergolong panjang (sekitar 12-16 minggu), spektrum warna bunga lebih sedikit (Muhallilin *et al.*, 2019) dan kesulitan teknik hibridisasi karena bunga berbentuk bulir dan majemuk yang berukuran 6-8 mm (UPOV, 2002). Hal ini menyulitkan kegiatan kastrasi dan isolasi organ reproduksi untuk persilangan tanaman. Dengan demikian diperlukan cara lain untuk meningkatkan keragaman tersebut. Pemuliaan mutasi merupakan salah satu cara untuk mendapatkan tanaman jengger ayam yang berkualitas dan memiliki keragaman genetik tinggi. Penelitian mutasi induksi dengan iradiasi sinar gamma telah banyak dilakukan pada tanaman dan dapat menginduksi perubahan morfologi pada jaringan tanaman dan biokimia pada level seluler sehingga diperoleh mutan potensial yang memiliki karakter baru. Beberapa tanaman yang menunjukkan perubahan morfologi dengan adanya induksi mutasi sinar gamma antara lain yaitu jinten hitam (Asif dan Khalil, 2019), okra (Amir *et al.*, 2018), dan apel (Atay *et al.*, 2018). Hasil penelitian Muhallilin *et al.* (2019) sebelumnya telah mendapatkan mutan-mutan generasi M2 yang potensial untuk dilanjutkan sebagai bahan pengembangan penelitian selanjutnya.

Seleksi genotipe terbaik berdasarkan karakter penting tertentu menjadi bagian penting pemuliaan tanaman. Seleksi dengan teknik *pedigree* dan *bulk* umum digunakan untuk memperoleh tanaman galur murni dengan produktivitas tinggi pada tanaman menyerbuk sendiri (Orton, 2020). Seleksi yang dilakukan berdasarkan performa individu terbaik dengan diketahui silsilah galur dengan jelas dari keluarga terbaik merupakan seleksi *pedigree*. Hal tersebut telah ditunjukkan dalam seleksi komponen hasil tanaman sorgum yang efektif dengan metode *pedigree* (Andriani *et al.*, 2019).

Pada penelitian ini, tujuh belas genotipe mutan M₃ *C. cristata* ditanam dilokasi dan kondisi lingkungan tumbuh yang sama, sehingga keragaman yang dihasilkan menunjukkan keragaman karakter setiap genotipe yang diamati. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan keragaman agro-morfologi pada tujuh belas genotipe mutan M₃ *C. cristata*.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di Sabisa Farm Bogor pada Maret sampai dengan Agustus 2019. Bahan yang digunakan

adalah biji dari tujuh belas genotipe mutan M₃ *C. cristata* yang diperoleh dari hasil penelitian Muhallilin *et al.* (2019), yaitu: dosis 0 Gy (G1), 470 Gy (G2, G3, G4, G5, G6), 480 Gy (G7, G8, G9, G10, G11, G12, G13), 490 Gy (G14, G15, G16, G17). Tujuh belas genotipe ditanam berdasarkan rancangan acak lengkap (RAL) faktor tunggal. Setiap genotipe ditanam 100 tanaman sehingga jumlah tanaman seluruhnya 1700 tanaman, lalu diseleksi berdasarkan jumlah bunga terbanyak untuk masing-masing genotipe sebanyak 3 individu (ulangan) sehingga menjadi 51 tanaman.

Pengolahan tanah sampai siap tanam dilakukan dua minggu sebelum tanam dalam sebuah petak tanam yang sebelumnya telah diberikan pupuk kandang. Tanaman dipelihara dengan penyiraman dan pengendalian penyakit serta hama. Deskripsi karakter sesuai UPOV untuk *Celosia* (2002) dengan dimodifikasi digunakan sebagai dasar pengamatan karakter-karakter agro-morfologi yang dikaji. Analisis agro-morfologi (kualitatif dan kuantitatif) dilakukan pada tanaman umur 3 bulan setelah tanam pada tiga ulangan per genotipe. Beberapa karakter kualitatif yang dievaluasi pada genotipe yang diteliti adalah intensitas antosianin batang bawah, bentuk sayatan melintang batang, warna (batang, daun, bunga), bentuk (daun, bunga), ujung daun dan panjang petiol. Sementara untuk warna bunga dibandingkan dengan *Royal Horticultural Society* (RHS) *mini colour chart*. Karakter kuantitatif yang diamati meliputi tinggi tanaman, diameter, waktu berbunga, jumlah cabang, jumlah bunga, serta panjang dan lebar bunga. Bunga yang diamati adalah satu sampel bunga utama terbesar pada setiap tanaman.

Analisis ragam untuk karakter kuantitatif dan uji Kruskal-Wallis untuk data kualitatif dianalisis dengan menggunakan SPSS 20.0. Analisis kemiripan antar genotipe yang diteliti berdasarkan karakter agro-morfologi (kualitatif dan kuantitatif) dilakukan dengan perhitungan koefisien ketidakmiripan genetik dengan metode Gower dan visualisasi dendrogram dengan metode average linkage menggunakan PBSTAT-CL 2.1 (www.pbstat.com).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Kualitatif

Data karakterisasi kualitatif agro-morfologi pada tujuh belas genotipe mutan M₃ *C. cristata* tersaji pada Tabel 1. Analisis Kruskal Wallis menunjukkan bahwa genotipe mutan *C. cristata* yang diteliti tidak berbeda nyata pada semua karakter kualitatif termasuk dengan pembandingan ($p > 0.05$). Sekitar 96% tanaman yang dianalisis memiliki karakter intensitas antosianin batang bawah (IAB) sedang dan lemah, kecuali pada genotipe G5.3 dan G15.3 memiliki IAB kuat. Secara umum (88% tanaman), karakter bentuk sayatan melintang batang (BMB) bulat kecuali pada 6 tanaman (G3.1, G4.2, G10.2, G11.2, G12.2, G12.3) adalah pipih. Karakter panjang petiol (PP) sebagian besar tanaman (96%) adalah medium, sedangkan tanaman G3.3 dan G7.2 memiliki petiol yang panjang. Hasil karakteristik kualitatif agro-morfologi menunjukkan tidak berbeda nyata dengan

Tabel 1. Karakter kualitatif agro-morfologi dari 17 genotipe mutan M₃ *C. cristata*

Genotipe	IAB	BMB	WBT	BD	UD	WD	BB	WB	PP
G1	5	1	9	3	2	2	4	9	5
G2	5	1	9	3	2	2	4	9	5
G3	3	2	9	3	2	2	4	9	7
G4	5	2	9	3	2	2	4	9	5
G5	7	1	9	3	2	2	4	9	5
G6	5	1	9	3	2	2	4	9	5
G7	5	1	9	3	2	2	4	9	7
G8	5	1	9	3	2	2	4	9	5
G9	5	1	9	3	2	2	4	9	5
G10	3	2	9	3	2	2	4	9	5
G11	5	2	9	3	2	2	4	9	5
G12	5	2	9	3	2	2	4	9	5
G13	5	1	9	3	2	2	4	9	5
G14	5	1	9	3	2	2	4	9	5
G15	7	1	9	3	2	2	4	9	5
G16	5	1	9	3	2	2	4	9	5
G17	3	1	9	3	2	2	4	9	5
Uji H	tn	tn	tn	tn	tn	tn	tn	tn	tn

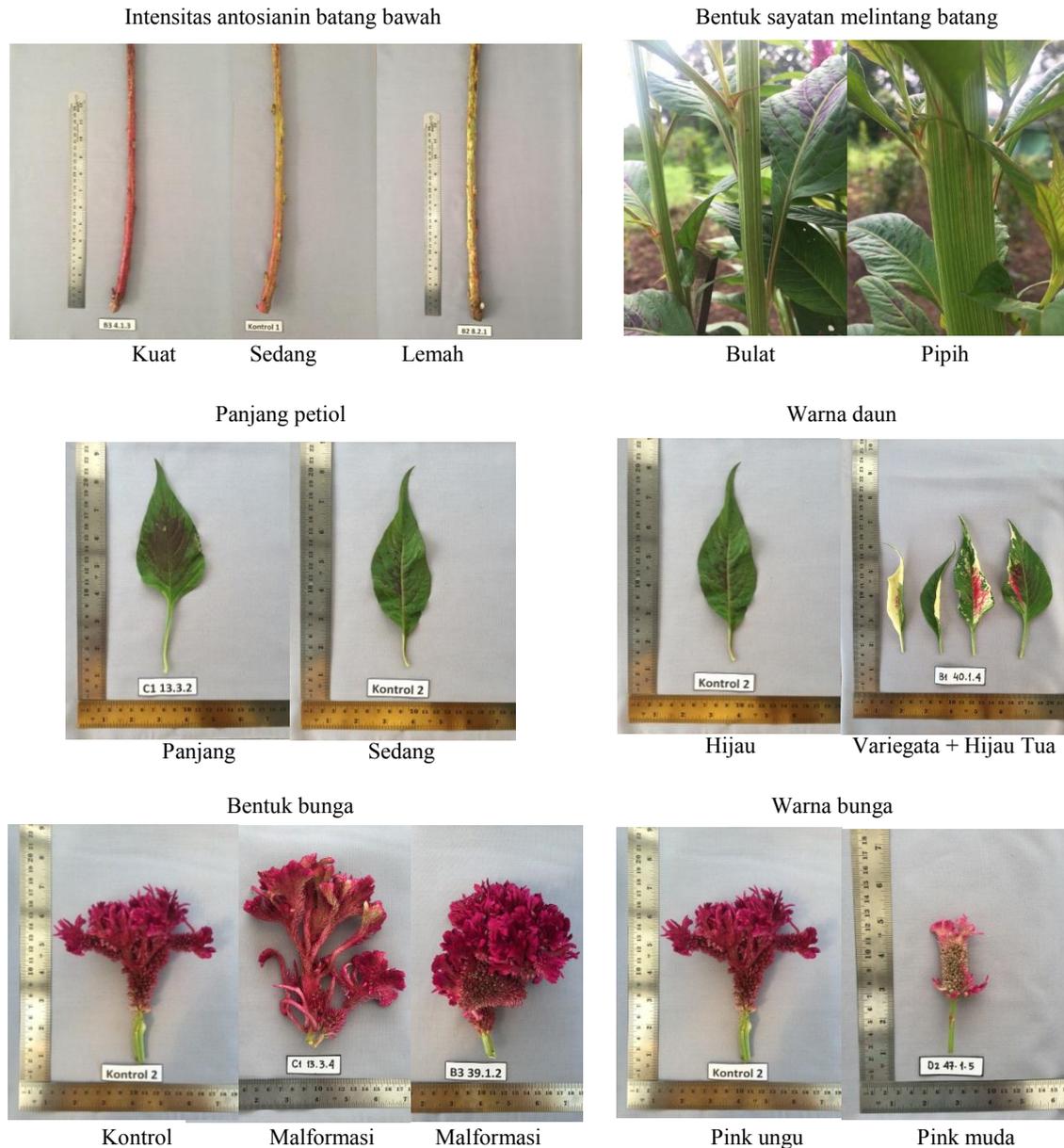
Keterangan: IAB= intensitas antosianin batang bawah (kuat:7; sedang:5; lemah:3); BMB= bentuk sayatan melintang batang (pipih:2; bulat:1); WBT= warna batang tanaman (kuning hijau:9); BD= bentuk daun (bulat telur:3); UD= ujung daun (meruncing:2); WD= warna daun (hijau medium:2); BB= bentuk bunga (cristata:4); WB= warna bunga (pink ungu:9); PP= panjang petiol (panjang:7; medium:5); tn = tidak berbeda nyata berdasarkan uji Kruskal-Wallis pada taraf 0.05.

generasi M1 yang telah dilaporkan oleh Muhallilin *et al.* (2019). Upaya untuk memperbaiki estetika morfologi bunga jengger ayam perlu ditingkatkan, misalnya seperti yang telah dilakukan oleh Aisyah *et al.* (2019) terjadinya perubahan morfologi tanaman *C. cristata* setelah dilakukan iradiasi berulang (*recurrent irradiation*).

Keragaman karakter kualitatif tanaman berbeda yang diamati tersaji pada Gambar 1. Ada 2 tanaman yang mengalami malformasi pada bunga yaitu G7.4 memiliki bulir bunga yang menghasilkan biji sangat sedikit sehingga bagian bawah *prophylls* terlihat kosong dan G6.2. Begitu juga tanaman G17.4 memiliki bunga variegata pink. Hal ini menunjukkan bahwa salah satu dampak iradiasi sinar gamma pada tanaman adalah adanya perubahan karakter morfologi baik bentuk maupun warna pada bagian organ tanaman. Penelitian sebelumnya pada *Helichrysum bracteatum* generasi M1 menghasilkan tanaman variegata dan perubahan pada warna bunga menjadi bervariasi mulai dari kuning, merah, merah muda dan putih (El-Khateeb *et al.*, 2017). Selain itu, laporan Kolar *et al.*, (2015) menunjukkan adanya perubahan warna, ukuran petal dan sepal pada bunga generasi M2 *Delphinium malabaricum*. Pada penelitian ini, pengaruh iradiasi gamma teramati tidak hanya pada bunga tetapi juga pada daun. Sebagai contoh, pada tanaman G2.4 terlihat adanya warna bunga putih dan pink (variegata), dan warna daunnya juga menunjukkan adanya perbedaan dengan kontrol (hijau) menjadi hijau tua dan variegata.

Karakteristik Kuantitatif

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa genotipe berpengaruh sangat nyata terhadap karakter tinggi tanaman dan panjang bunga ($p < 0.05$) (Tabel 2). Rata-rata tinggi tanaman berkisar antara 96 cm (G6) sampai dengan 122 cm (G17). Rata-rata panjang bunga berkisar antara 9.67 (G3) sampai dengan 14.17 cm (G5). Nilai rata-rata tanaman mutan pada tinggi tanaman dan panjang bunga lebih tinggi dibandingkan kontrol. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan iradiasi sinar gamma dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman. Penelitian Muhallilin *et al.* (2019) pada *C. cristata* menunjukkan bahwa karakter tinggi dan panjang bunga berbeda nyata secara signifikan dengan nilai rata-rata tanaman kontrol pada tinggi tanaman dan panjang bunga lebih tinggi dibandingkan tanaman yang diradiasi. Hal ini menunjukkan bahwa mutasi akibat sinar gamma juga dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Selain itu, induksi buatan melalui sinar gamma juga memberikan keragaman genetik secara cepat dan akurat (Asif dan Khalil, 2019; Atay *et al.*, 2018; Parchin *et al.*, 2019). Keragaman pada karakter tinggi tanaman dan panjang bunga *C. cristata* penting dalam kegiatan pemuliaan tanaman. Terjadinya keragaman mengindikasikan adanya keragaman genetik pada genotipe tanaman yang diteliti (Heydari *et al.*, 2019). Dengan demikian, hasil ini menunjukkan adanya keragaman genetik pada genotipe



Gambar 1. Keragaman karakter kualitatif *C. cristata*

C. cristata karena keragaman ada pada kondisi lingkungan pertumbuhan yang sama.

Rata-rata diameter batang berkisar antara 1.37 cm (genotipe G3) hingga 1.84 cm (G13) (Tabel 2). Rata-rata jumlah cabang berkisar antara 15.33 (G7) sampai dengan 27.00 (G13) sedangkan rata-rata jumlah bunga berkisar antara 48.33 (G4) hingga 85.67 (G13). Rata-rata lebar bunga berkisar antara 5.5 cm (G8) sampai dengan 10.83 cm (G4). Genotipe mutan M_3 *C. cristata* yang diteliti dari induksi sinar gamma menunjukkan tidak merubah karakter diameter batang, jumlah cabang, jumlah bunga, dan lebar bunga. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian sebelumnya pada tanaman berbeda yaitu *Dianthus caryophyllus* yang menunjukkan perlakuan induksi sinar gamma tidak merubah karakter lebar daun, panjang daun, jumlah daun, dan tinggi tanaman pada generasi MV5 (Aisyah *et al.*, 2009). Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena adanya perbaikan

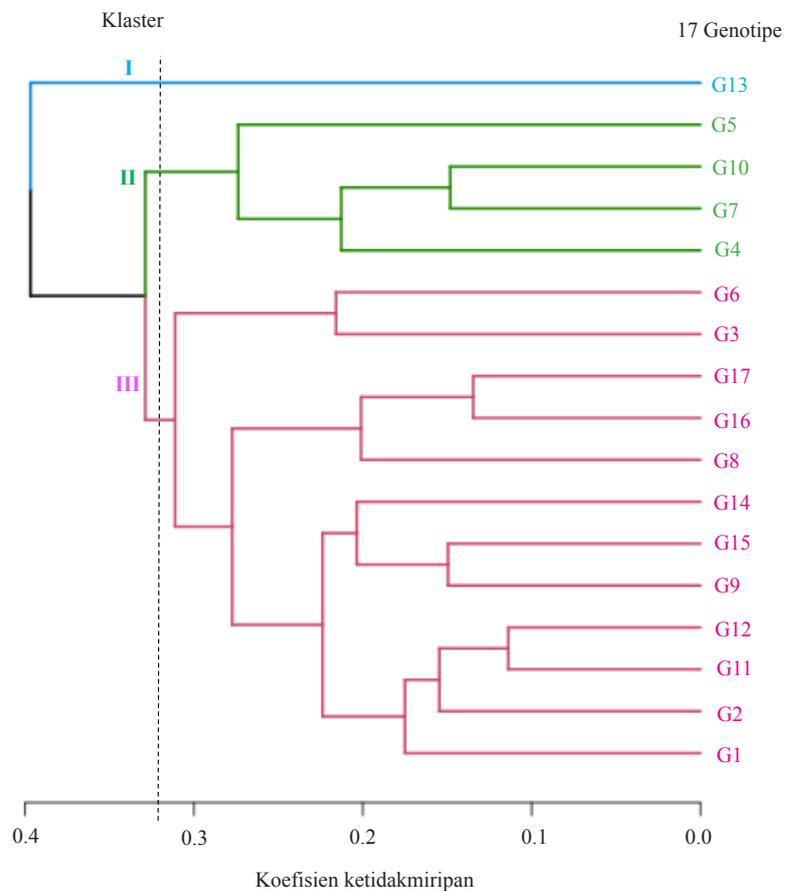
sel yang termutasi menjadi sel normal. Secara alami dalam tanaman memiliki mekanisme dalam memperbaiki sel yang diinduksi iradiasi sinar gamma diantaranya adalah dengan mengaktifkan enzim-enzim antioksidan dan atau memproduksi senyawa antioksidan seperti polifenol sehingga sel yang terpapar partikel dari sinar gamma mampu mengatasi sehingga menjadi normal kembali (Kim *et al.*, 2011; Zhu *et al.*, 2020).

Hasil analisis dendrogram menunjukkan koefisien ketidakmiripan sebesar 32% yang membagi 17 genotipe mutan *C. cristata* dalam 3 kelompok berdasarkan kemiripan karakteristik agro-morfologi (Gambar 2). Genotipe G13 merupakan satu-satunya yang ada di klaster pertama yang dicirikan oleh jumlah bunga, jumlah cabang, dan diameter batang yang tinggi. Empat genotipe yaitu G5, G10, G7 dan G4 terdapat pada klaster dua yang tergabung berdasarkan kemiripan karakter jumlah bunga dan jumlah cabang yang

Tabel 2. Karakter kuantitatif agro-morfologi dari 17 genotipe mutan M₃ *C. cristata*

Genotipe	TT (cm)	DB (cm)	JC (no)	JB (no)	PB (cm)	LB (cm)
G1	109.00ef	1.64	22.0	64.0	10.73b	7.70
G2	107.33f	1.62	21.7	72.3	12.57ab	9.33
G3	111.67def	1.37	18.7	72.3	9.67b	7.50
G4	112.33cdef	1.65	20.7	48.3	11.83ab	10.83
G5	111.00def	1.55	17.7	49.7	14.17a	8.00
G6	96.00g	1.38	19.7	70.0	11.83ab	7.73
G7	115.67abcd	1.44	15.3	49.7	11.73ab	10.27
G8	117.00abcd	1.53	21.3	82.3	11.33ab	5.50
G9	111.33def	1.46	23.7	75.3	13.00ab	8.17
G10	118.33abc	1.45	19.3	57.3	11.40ab	9.50
G11	108.17f	1.57	19.7	64.0	12.30ab	6.83
G12	110.67def	1.57	19.0	62.0	12.33ab	9.33
G13	115.00bcde	1.84	27.0	85.7	12.50ab	8.90
G14	108.33f	1.55	25.7	84.0	11.83ab	9.33
G15	118.67abc	1.56	24.3	68.7	12.67ab	8.67
G16	119.67ab	1.51	25.3	61.3	10.83ab	5.83
G17	122.00a	1.59	23.7	66.0	11.67ab	6.33

Keterangan: TT = tinggi tanaman; DB = diameter batang; JC = jumlah cabang; JB = jumlah bunga; PB = panjang bunga; LB = lebar bunga. Nilai yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% berdasarkan uji Tukey



Gambar 2. Dendrogram dari tujuh belas genotipe mutan M₃ *C. cristata* berdasarkan karakter kuantitatif agro-morfologi

rendah, serta lebar bunga dan panjang bunga yang tinggi. Kelompok ketiga terdiri dari 12 genotipe yaitu G6, G3, G17, G16, G8, G14, G15, G9, G12, G11, G2, G1. Klaster 3 terbagi menjadi 3 sub klaster. Sub klaster 3.1 (G6 dan G3) tergabung berdasarkan kemiripan pada karakter yang rendah pada diameter batang, panjang bunga dan tinggi tanaman. Genotipe G17, G16, dan G8 tergabung dalam sub klaster 3.2 berdasarkan kemiripan pada karakter tinggi tanaman yang tinggi dan lebar bunga yang rendah. Genotipe G1, G2, G9, G11, G12, G14, dan G15 tergabung pada sub klaster 3.3 berdasarkan kemiripan pada karakter lebar bunga, diameter batang, panjang bunga, tinggi tanaman, jumlah bunga dan jumlah bunga yang sedang. Analisis klaster hirarki atau *dendrogram* merupakan analisis multivariat yang umum digunakan untuk menentukan kemiripan antara genotipe (Péroumal *et al.*, 2017). Hasil analisis menunjukkan adanya keragaman genetik, sehingga pengembangan menjadi varietas sangat potensial untuk dilakukan melalui program pemuliaan tanaman. Pengembangan jengger ayam tentunya lebih ditekankan sebagai komoditas bunga, sehingga estetika menjadi hal penting untuk dikaji. Berdasarkan segi estetika, tanaman yang menambah nilai estetika baru pada *C. cristata* adalah tanaman yang memiliki warna unik dengan warna bunga variegata pink, dan juga tanaman yang memiliki warna variegata putih dan pink (Gambar 1).

KESIMPULAN

Karakter kualitatif agro-morfologi menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada tujuh belas genotipe mutan M₃ *C. cristata* yang diteliti. Panjang bunga dan tinggi tanaman merupakan karakter kuantitatif agro-morfologi yang berbeda nyata pada genotipe yang diteliti, sementara untuk karakter diameter batang, jumlah cabang, dan lebar bunga tidak berbeda nyata. Panjang bunga dan tinggi tanaman menjadi karakter penting untuk dievaluasi lebih lanjut dalam program pemuliaan tanaman *C. cristata*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai melalui program penelitian dasar unggulan perguruan tinggi (PDUPT) dengan nomor kontrak 4172/IT3.L1/PN/2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, S.I., H. Aswidinnoor, A. Saefuddin, B. Marwoto, S. Sastrosumarjo. 2009. Induksi mutasi pada stek pucuk anyelir (*Dianthus caryophyllus* Linn.) melalui iradiasi sinar gamma. *J. Agron. Indonesia* 37:62-70.
- Aisyah, S.I., I. Muhallilin, D. Sukma, W. Nurcholis. 2019. The morphological and phytochemical studies on the effect of acute and recurrent irradiation in *Celosia cristata* seeds. *Biodiversitas J. Biol. Divers.* 20: 3766-3771.
- Amir, K., S. Hussain, M. Shuaib, F. Hussain, Z. Urooj, W.M. Khan, U. Zeb, K. Ali, M.A. Zeb, F. Hussain. 2018. Effect of gamma irradiation on okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Acta Ecol. Sin.* 38:368-373.
- Andriani, D., D. Wirnas, Trikoesoemaningtyas. 2019. Efektivitas metode seleksi pedigree dan modified bulk pada tiga populasi sorgum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench). *J. Agron. Indonesia* 47:275-282.
- Asif, A., M.Y.A. Khalil. 2019. Generation of mutant lines of *Nigella sativa* L. by induced mutagenesis for improved seed yield. *Indust. Crops Prod.* 139: 111552.
- Atay, A.N., E. Atay, P.-E. Lauri, B. Kunter, K.Y. Kantoglu. 2018. Phenotyping gamma-ray-induced mutant population of 'Amasya' apple for architectural traits, precocity, floral phenology and fruit characteristics. *Sci. Hortic.* 233:195-203.
- El-Khateeb, M.A., R.A. Eid, H.A. Mahfouze, H.A. Ashor, R.M. Mabrouk. 2017. Induction of mutation with gamma radiation in *Helichrysum bracteatum* L. and identification of mutants by molecular markers. *Middle East J. Agric. Res.* 6:282-293.
- Heydari, A., J. Hadian, H. Esmaeili, M.R. Kanani, M.H. Mirjalili, A. Sarkhosh. 2019. Introduction of *Thymus daenensis* into cultivation: Analysis of agro-morphological, phytochemical and genetic diversity of cultivated clones. *Indust. Crops Prod.* 131:14-24.
- Khokhar, J.S., A.K. Sarial. 2016. Phenotyping for genetic divergence under transplanted and low-cost direct-seeded rice (*Oryza sativa*) production systems. *Indian J. Agric. Sci.* 86:1276-1279.
- Kim, D.S., J.-B. Kim, E.J. Goh, W.-J. Kim, S.H. Kim, Y.W. Seo, C.S. Jang, S.-Y. Kang. 2011. Antioxidant response of *Arabidopsis* plants to gamma irradiation: Genome-wide expression profiling of the ROS scavenging and signal transduction pathways. *J. Plant Physiol.* 168:1960-1971.
- Kolar, F.R., S.R. Ghatge, M.S. Nimbalkar, G.B. Dixit. 2015. Mutational changes in *Delphinium malabaricum* (Huth.) Munz.: A potential ornamental plant. *J. Hortic. Res.* 23:5-15.
- Muhallilin, I., S.I. Aisyah, D. Sukma. 2019. The diversity of morphological characteristics and chemical content of *Celosia cristata* plantlets due to gamma ray irradiation. *Biodiversitas J. Biol. Divers.* 20:862-866.

- Orton, T.J. 2020. Chapter 5 - Mass Selection and the Basic Plant Breeding Algorithm. In: Orton, T.J.B.T.-H.P.B., editor, Horticultural Plant Breeding. Academic Press. p. 85-95.
- Parchin, R.A., A.A.N. Ghomi, H.N. Badi, A. Eskandari, S. Navabpour, A. Mehrafarin. 2019. Growth characteristics and phytochemical responses of Iranian fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) exposed to gamma irradiation. *Indust. Crops Prod.* 139:111593.
- Péroumal, A., S. Adenet, K. Rochefort, L. Fahrasmane, G. Aurore. 2017. Variability of traits and bioactive compounds in the fruit and pulp of six mamey apple (*Mammea americana* L.) accessions. *Food Chem.* 234:269-275.
- Sun, Z.-L., G.-L. Gao, Y.-F. Xia, J. Feng, Z.-Y. Qiao. 2011. A new hepoprotective saponin from Semen *Celosia cristatae*. *Fitoterapia* 82:591-594.
- UPOV. 2002. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability: *Celosia* L. International Union for The Protection of New Varieties of Plants, Geneva.
- Wang, Y., Z. Lou, Q.-B. Wu, M.-L. Guo. 2010. A novel hepatoprotective saponin from *Celosia cristata* L. *Fitoterapia* 81:1246-1252.
- Zhang, S.-M., X.-F. Wang, J. Feng, Z.-L. Sun. 2016. Chemical constituents of the seeds of *Celosia cristata*. *Chem. Nat. Compd.* 52:827-829.
- Zhu, Y., J. Cheng, Z. Zhang, J. Liu. 2020. Mutation of *Arthrospira platensis* by gamma irradiation to promote phenol tolerance and CO₂ fixation for coal-chemical flue gas reduction. *J. CO₂ Util.* 38:252-261.