

## Penentuan Dosis Iradiasi Sinar Gamma dalam Meningkatkan Keragaman untuk Perbaikan Karakter Kuantitatif Bawang Merah (*Allium cepa* var. *aggregatum*)

### *Determination of Gamma Irradiation Dose to Increase Variability for Improvement of Quantitative Traits in Shallot (*Allium cepa* var. *aggregatum*)*

W.S. Kurniajati<sup>1\*</sup>, Sobir<sup>2</sup>, S.I. Aisyah<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pusat Penelitian Biologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Jl. Raya Jakarta-Bogor KM. 46, Cibinong 16415, Indonesia

<sup>2</sup> Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Jl. Raya Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

\* E-mail : wulanskurniajati@yahoo.com

#### ABSTRAK

Perbanyakan bawang merah (*Allium cepa* var. *aggregatum*) secara luas menggunakan umbi, oleh karena itu mutasi merupakan metode yang efektif untuk menginduksi keragaman genetik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi mengenai radiosensitivitas dan menginduksi keragaman genetik pada bawang merah varietas Bima Brebes menggunakan iradiasi sinar gamma. Bahan tanam dikelompokkan berdasarkan asal material tanaman, yaitu umbi dan biji. Dosis iradiasi biji adalah 0-1000 Gy dengan rentang 100 Gy, sedangkan pada umbi adalah 0, 1, 2, 4, 6, 8, dan 10 Gy. Radiosensitivitas umbi bawang merah lebih tinggi dibandingkan biji. Nilai LD<sub>50</sub> bawang merah asal umbi adalah 7,55 Gy dan asal biji adalah 75,26 Gy. Iradiasi mampu menstimulasi pertumbuhan tanaman pada dosis yang mendekati LD<sub>20</sub> pada umbi, yaitu pada nilai 2 Gy. Keragaman yang terbentuk tersebar secara acak pada berbagai dosis iradiasi dan karakter pengamatan.

**Kata kunci** : bawang merah, iradiasi, keragaman, radiosensitivitas, mutasi

#### ABSTRACT

*Tuber is widely used as propagative material for shallot (*Allium cepa* var. *aggregatum*), therefore mutation is an effective method to induce genetic variability. The purpose of this study was to obtain information about radiosensitivity and to induce genetic variability in shallot Bima Brebes variety using gamma ray irradiation. Plant materials were grouped according to the source, bulbs and seed. The irradiation dose used were 0-1000 Gy, with interval 100 Gy, and for the bulbs were 0, 1, 2, 4, 6, 8, and 10 Gy. Radiosensitivity of shallot bulb to the irradiation of gamma was higher than seed. The LD<sub>50</sub> value of the onion from the tuber was 7.55 Gy and from the seed was 75.26 Gy. Irradiation was able to stimulate plant growth at doses close to LD<sub>20</sub>, which was at 2 Gy. The variability was randomly distributed at various irradiation doses and observational characters.*

**Keywords** : shallot, irradiation, variability, radiosensitivity, mutation

## PENDAHULUAN

Tanaman bawang merah sulit memproduksi bunga dan biji, terutama di dataran rendah, sehingga metode perbanyak vegetatif menggunakan umbi menjadi umum digunakan. Perbanyak vegetatif akan mempertahankan heterosis dengan cara menjaga heterozigositas. Metode tersebut lebih mudah, cepat, dan ekonomis dibandingkan *True Shallot Seed* (TSS), tetapi penanaman secara terus menerus dengan genotipe yang seragam dapat menurunkan hasil dan kualitas pada kondisi cekaman [1],[2].

Faktor pembatas dari hibridisasi adalah pembungaan. Biasanya bunga akan terbentuk di daerah dengan temperatur <math>18^{\circ}\text{C}</math> [3]. Pendekatan alternatif yang dapat digunakan untuk menginduksi keragaman pada tanaman yang sulit berbunga adalah dengan mutasi [4].

Iradiasi sinar gamma merupakan salah satu teknik mutasi yang tergolong sebagai mutasi fisik. Sinar gamma juga memiliki Panjang gelombang terpendek dengan energi terbesar dalam spektrum elektromagnetik. Penggunaannya dianggap lebih aman dibandingkan dengan mutasi kimawi karena tidak meninggalkan residu [5]. Sinar gamma dilaporkan telah berhasil menginduksi keragaman genetik tanaman krisan [6].

Tingkat kesuksesan dalam menginduksi keragaman genetik ditentukan oleh radiosensitivitas tanaman yang terukur melalui nilai  $\text{LD}_{50}$ . Nilai tersebut dapat membunuh 50% populasi tanaman dan dianggap sebagai dosis optimum karena mampu memproduksi mutan atau keragaman genetik tertinggi [7]. Iradiasi sinar gamma dengan dosis rendah juga mampu menstimulasi pembelahan sel, pertumbuhan, dan perkembangan berbagai organisme [8].

Beberapa penelitian mengenai efek sinar gamma telah dilakukan di genus *Allium*, tetapi belum ada laporan mengenai efeknya terhadap pembentukan keragaman genetik [9], [10], [11]. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai radiosensitivitas dan induksi keragaman genetik pada bawang merah menggunakan radiasi sinar gamma.

## BAHAN DAN METODE

### Iradiasi sinar gamma dan penanaman

Bahan tanam yang digunakan adalah biji dan umbi bawang merah varietas Bima Brebes. Iradiasi dilakukan menggunakan  $^{60}\text{Co}$  Gamma Chamber 4000A di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan

Tenaga Nuklir Nasional, Indonesia. Dosis iradiasi biji adalah 0-1000 Gray (Gy) dengan interval 100 Gy (laju dosis 390 Gy/jam). Dosis iradiasi umbi adalah 0, 1, 2, 4, 6, 8, dan 10 Gy. Biji dan umbi kemudian divernalisasi pada suhu  $10^{\circ}\text{C}$  selama 2 minggu. Umbi ditanam menggunakan rancangan acak blok dengan jarak tanam  $20 \times 15$  cm di bak penanaman yang berisi pupuk kompos, tanah steril, dan pasir steril (1:1:1). Pengamatan daya berkecambah dan kemampuan bertahan hidup pada generasi  $M_1$  adalah pada 2 dan 4 minggu setelah tanam (MST).

### Pengamatan karakter kuantitatif tanaman pada generasi $M_1V_1$

Seluruh umbi yang dipanen di generasi  $M_1$  ditanam di kebun percobaan Pasir Kuda, Bogor. Penanaman dilakukan menggunakan rancangan acak blok. Media tanam yang digunakan adalah campuran tanah, arang sekam, dan pupuk kandang (1:1:1). Pemupukan dilakukan setiap 2 minggu menggunakan pupuk NPK. Pengamatan terhadap karakter tanaman dilakukan pada 30 hari setelah tanam (HST) yang meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, lebar daun, banyaknya daun per pseudostem, tinggi pseudostem, dan lebar pseudostem. Pengamatan terhadap umbi dilakukan setelah panen yang meliputi karakter jumlah umbi per tanaman, bobot basah, bobot kering, tinggi, dan diameter umbi.

### Analisis data

Analisis nilai  $\text{LD}_{50}$  menggunakan persentase data tanaman hidup pada 28 HST dengan formula:

$$\text{Tanaman hidup (\%)} = \frac{\text{banyak tanaman hidup per dosis}}{\text{banyak tanaman hidup pada kontrol}} \times 100\%$$

Uji normalitas data dilakukan pada karakter pengamatan di generasi  $M_1V_1$ . Apabila data menyebar normal, maka dilakukan Analisis Varian (ANOVA) tetapi bila data tidak menyebar normal dilakukan Uji Kruskal-Wallis. Analisis lanjut menggunakan Uji Tukey dilakukan apabila terdapat beda nyata ( $\alpha=5\%$ ).

Analisis untuk keragaman tanaman dihitung dengan koefisien keragaman (KK). KK dapat digunakan untuk menentukan keragaman dalam populasi genetik dan atribut individual atau populasi. KK dihitung dengan formula:

$$KK (\%) = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%$$

Keterangan :

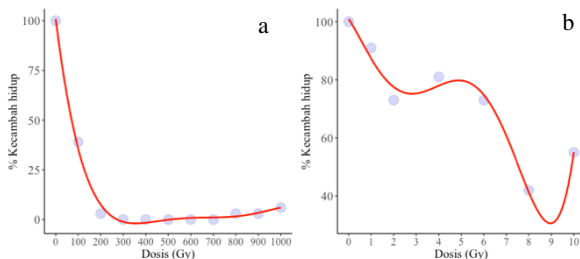
$\sigma$  : standar deviasi

$\bar{x}$  : rerata

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Radiosensitivitas bawang merah

Iradiasi sinar gamma berpengaruh terhadap perkecambah umbi dan biji (Gambar 1). Kecambah hidup tertinggi terjadi pada dosis paling rendah baik pada umbi (1 Gy) maupun biji (100 Gy). Hasil yang sama ditunjukkan pada biji bawang Bombay [9], namun penelitian lain pada umbi bawang merah Bima Brebes mampu berkecambah 92% pada dosis 3 Gy [11]. Perbedaan hasil ini kemungkinan disebabkan karena umbi yang digunakan pada penelitian ini adalah umbi yang berumur 14 hari setelah panen (HSP) dan setelah perlakuan iradiasi divernalisasi pada suhu 4°C sehingga memiliki kadar air yang masih relatif tinggi. Sinar gamma akan berinteraksi dengan air membentuk radikal bebas yang dapat menghambat perkecambahan [5]. Pada dosis tinggi terlihat bahwa masih terdapat kecambah yang hidup, baik pada biji maupun umbi. Hal ini sejalan dengan yang ditemukan pada biji rosella [12].



**Gambar 1.** Kecambah hidup pada (a) biji dan (b) umbi bawang merah akibat iradiasi sinar gamma

Sensitivitas tanaman terhadap iradiasi sinar gamma dapat dilihat dari nilai LD<sub>50</sub>. Semakin tinggi nilai LD<sub>50</sub>, maka sensitivitasnya semakin rendah. Sensitivitas umbi bawang merah hanya sekitar 10% dari sensitivitas biji (Tabel 1). Nilai LD<sub>50</sub> umbi bawang merah varietas Bima Brebes sejalan dengan penelitian sebelumnya, tetapi pada umbi bawang merah varietas Nainggolan adalah 12 Gy. Kulit biji yang keras mampu menahan sinar gamma sehingga sensitivitas biji lebih rendah. Biji bawang bombay masih dapat hidup pada perlakuan 1000 Gy. Sensitivitas bawang merah termasuk tinggi bila dibandingkan dengan LD<sub>50</sub> biji tapak dara sebesar 500 Gy [13], padi sebesar 235 Gy [14], umbi kentang 54,8 Gy [15], dan kunyit 47,26

Gy [16]. Sensitivitas radiasi sinar gamma dipengaruhi oleh spesies, asal material tanaman, tahap pertumbuhan, dan dosis radiasi [15].

**Tabel 1.** Nilai LD<sub>50</sub> biji dan umbi bawang merah var. Bima Brebes akibat iradiasi sinar gamma

Bahan tanam	Persamaan	Nilai R <sup>2</sup>	Nilai LD <sub>50</sub> (Gy)
Biji	$y = 100,79 - 0,91213x + 0,0030599x^2 - 4,8431e^{-06} x^3 + 3,6582e^{-09} x^4 - 1,0577e^{-12} x^5$	0,99	75,26
Umbi	$y = 100,91 - 11,98x - 4,2695x^2 + 3,1728x^3 - 0,53641x^4 + 0,026922x^5$	0,98	7,55

### Pengamatan karakter kuantitatif tanaman di generasi M<sub>1</sub>V<sub>1</sub>

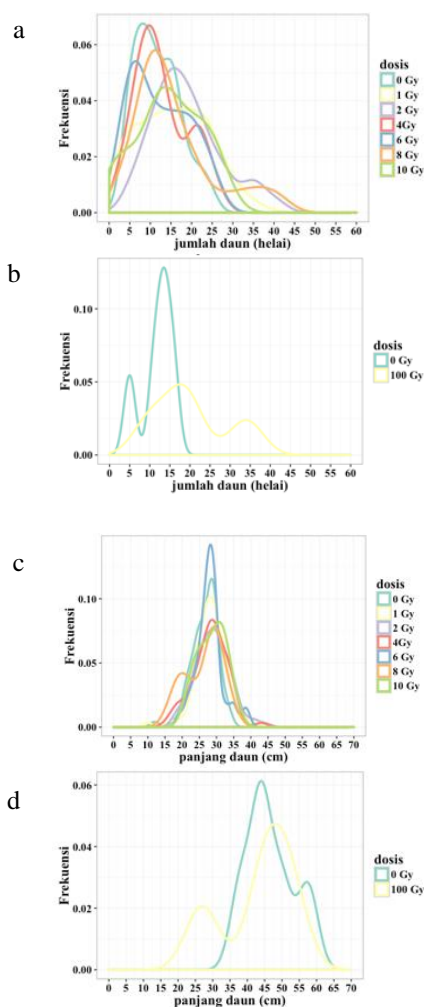
Umbi yang dipanen pada generasi M<sub>1</sub> kemudian ditanam seluruhnya, tetapi pada perlakuan biji hanya dosis 100 Gy yang tanamannya mampu menghasilkan umbi. Tanaman dengan perlakuan dosis tinggi cenderung mengalami klorosis, kerdil, menghasilkan umbi yang tidak sempurna, dan tidak menghasilkan umbi. Pada lapisan luar umbi membentuk kulit umbi, tetapi bagian dalamnya masih berbentuk pseudostem. Iradiasi diduga memberikan efek kerusakan fisiologis yang mempengaruhi kemampuan tumbuh, bertahan hidup, dan pembentukan organ tanaman [17]. Data dari berbagai karakter kuantitatif tanaman tidak menyebar normal, oleh karena itu analisis data yang digunakan adalah Kruskal-Wallis.

**Tabel 2.** Karakter kuantitatif tanaman bawang merah akibat iradiasi sinar gamma

Dosis (Gy)	Jumlah daun	Panjang daun	Umur panen
<b>Umbi</b>			
0	11.76±5.39 <sup>a</sup>	26.63±3.83 <sup>b</sup>	70.81±4.78 <sup>a</sup>
1	15.75±8.55 <sup>b</sup>	28.10±4.51 <sup>a</sup>	70.07±4.24 <sup>a</sup>
2	18.83±8.39 <sup>c</sup>	28.92±5.03 <sup>a</sup>	70.78±4.44 <sup>a</sup>
4	12.76±6.39 <sup>a</sup>	28.16±5.00 <sup>a</sup>	71.68±4.72 <sup>a</sup>
6	12.35±6.97 <sup>a</sup>	28.06±3.99 <sup>ab</sup>	71.05±4.75 <sup>a</sup>
8	15.58±9.68 <sup>ab</sup>	26.20±5.31 <sup>ab</sup>	72.58±4.66 <sup>a</sup>
10	14.64±7.98 <sup>abc</sup>	28.64±4.07 <sup>ab</sup>	74.36±4.32 <sup>b</sup>
<b>Biji</b>			
0	11.80±3.76 <sup>a</sup>	46.70±6.60 <sup>a</sup>	62.00±0.00 <sup>a</sup>
100	20.25±8.73 <sup>a</sup>	43.00±9.77 <sup>a</sup>	62.75±1.30 <sup>a</sup>

Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji Tukey 5%

Pengaruh iradiasi terhadap karakter kuantitatif umbi dan biji dapat dilihat pada Tabel 2. Iradiasi pada umbi mampu meningkatkan jumlah daun dan panjang daun, tetapi umur panen menjadi lebih panjang dibandingkan kontrol. Perlakuan dosis 2 Gy menghasilkan jumlah daun terbanyak dan panjang daun tertinggi dibandingkan dengan dosis 8 Gy yang mendekati nilai LD<sub>50</sub>. Semakin tinggi dosis iradiasi, umur panennya akan semakin panjang. Iradiasi pada biji menunjukkan bahwa dosis 100 Gy mampu meningkatkan jumlah daun, tetapi tidak meningkatkan panjang daun dan memperpendek umur panen. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa sampai pada dosis tertentu iradiasi mampu menstimulasi pertumbuhan tanaman bawang merah, tetapi pada spesies tanaman lain peningkatan dosis akan menurunkan tinggi tanaman [18].



**Gambar 2.** Sebaran nilai karakter kuantitatif tanaman bawang merah Bima Brebes akibat iradiasi sinar gamma

Iradiasi sinar gamma pada berbagai dosis mampu meningkatkan jumlah daun baik pada perlakuan umbi maupun biji (Gambar 2). Pada perlakuan umbi, iradiasi mampu meningkatkan panjang daun, sedangkan pada perlakuan biji tidak. Pengaruh sinar gamma untuk perlakuan umur panen tidak berbeda dibandingkan kontrol.

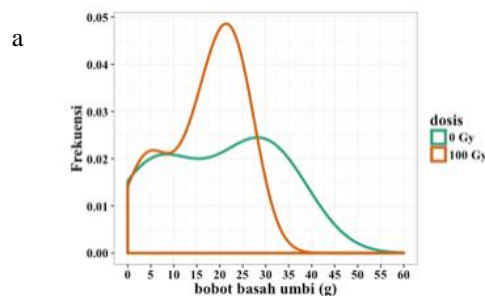
**Tabel 3.** Rerata nilai karakter kuantitatif umbi bawang merah Bima Brebes akibat iradiasi sinar gamma

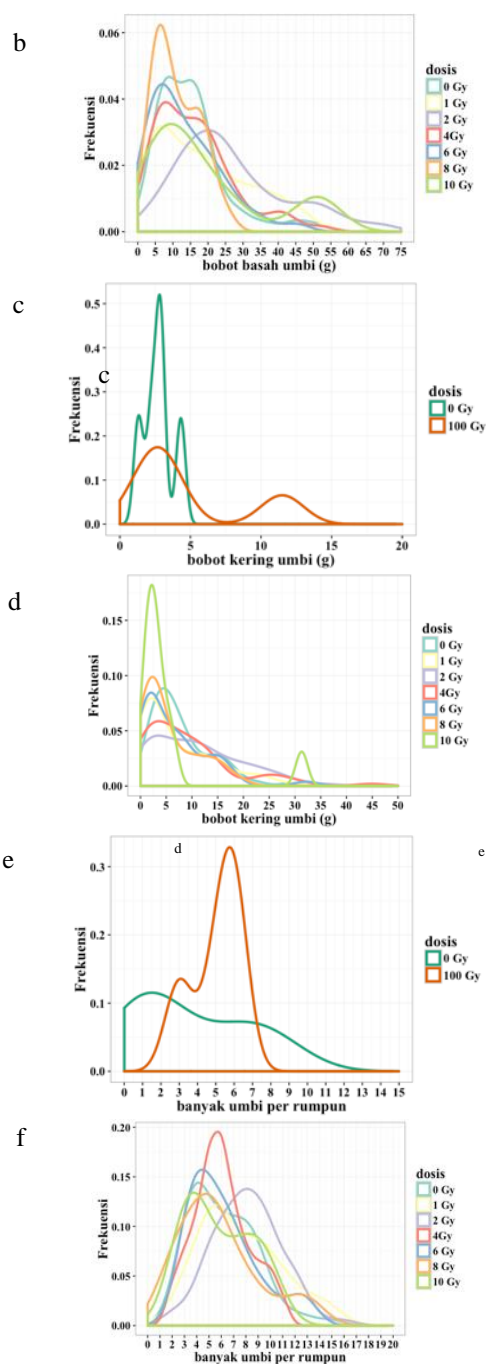
Dosis (Gy)	Banyak umbi/rumpun	Bobot basah umbi	Bobot kering umbi	Diameter umbi
<b>Umbi</b>				
0	6.18±2.71 <sup>a</sup>	15.10±9.98 <sup>ac</sup>	7.92±5.79 <sup>bc</sup>	2.14±0.35 <sup>a</sup>
1	7.6±3.30 <sup>bc</sup>	18.35±13.26 <sup>c</sup>	7.30±7.17 <sup>ac</sup>	2.35±0.52 <sup>bc</sup>
2	8.09±2.74 <sup>b</sup>	26.58±15.49 <sup>b</sup>	10.80±8.51 <sup>b</sup>	2.48±0.43 <sup>c</sup>
4	6.05±2.24 <sup>a</sup>	16.18±11.00 <sup>ac</sup>	9.20±8.91 <sup>abc</sup>	2.27±0.42 <sup>ab</sup>
6	6.21±2.81 <sup>a</sup>	13.47±9.99 <sup>ac</sup>	6.71±6.55 <sup>ac</sup>	2.25±0.50 <sup>ab</sup>
8	5.85±3.26 <sup>a</sup>	11.02±6.31 <sup>a</sup>	5.61±5.24 <sup>a</sup>	1.34±0.42 <sup>ab</sup>
10	5.82±2.68 <sup>ac</sup>	19.35±17.22 <sup>ac</sup>	5.48±8.73 <sup>a</sup>	1.96±0.45 <sup>a</sup>
<b>Biji</b>				
0	3.60±2.87 <sup>a</sup>	19.34±11.77 <sup>a</sup>	2.72±0.98 <sup>a</sup>	2.06±0.48 <sup>a</sup>
100	5.00±1.22 <sup>a</sup>	16.54±7.70 <sup>a</sup>	4.85±3.90 <sup>a</sup>	2.10±0.37 <sup>a</sup>

Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji Tukey 5%

Pengaruh iradiasi terhadap umbi M<sub>1</sub>V<sub>1</sub> berbeda antara perlakuan umbi maupun biji (Tabel 3). Pada perlakuan biji, iradiasi menyebabkan banyak umbi per rumpun meningkat dengan ukuran umbi lebih kecil, bobot basah umbi menurun, tetapi memiliki bobot kering umbi lebih besar dibandingkan kontrol. Pada perlakuan umbi, terjadi korelasi antara iradiasi dengan peningkatan seluruh karakter umbi sampai pada dosis 2 Gy.

Pengaruh iradiasi terhadap sebaran umbi pada tanaman asal biji secara umum masih berada di dalam area yang sama dengan kontrol. Hal berbeda pada sebaran umbi dari tanaman asal umbi yang pada karakter banyak umbi per rumpun, bobot basah umbi dan bobot kering umbi menunjukkan bahwa area sebaran melebihi kontrol ke arah kanan (Gambar 3). Hal tersebut menunjukkan pada tanaman asal umbi, iradiasi lebih efektif dalam meningkatkan karakter umbi terutama pada dosis 2 Gy.





**Gambar 3.** Sebaran nilai karakter kuantitatif umbi bawang merah Bima Brebes akibat iradiasi sinar gamma

Keragaman yang terbentuk akibat iradiasi sinar gamma dapat dilihat dengan nilai KK. Nilai KK digunakan untuk membandingkan keragaman individu dalam satu kultivar [19]. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa keragaman terbentuk secara acak (Tabel 4). Keragaman yang terbentuk pada sekitar nilai LD<sub>50</sub> hanya pada karakter jumlah daun, panjang daun, dan banyak umbi per rumpun.

Pada perlakuan biji, iradiasi hanya mampu meningkatkan keragaman pada karakter bobot kering, jumlah daun, panjang daun, dan umur panen.

**Tabel 4.** Nilai koefisien keragaman (%) karakter kuantitatif bawang merah Bima Brebes akibat iradiasi sinar gamma

Dosis (Gy)	UR	BB	BK	DU	PD	JD	UP
<b>Umbi</b>							
0	43.9	66.09	73.1	27.68	45.84	14.38	6.76
1	43.4	72.23	98.15	37.15	54.28	16.04	6.05
2	33.9	58.27	78.75	28.35	44.57	17.4	6.27
4	37	67.99	96.91	30.98	50.05	17.76	6.58
6	45.2	74.15	97.57	34.66	56.43	14.24	6.68
8	55.7	57.28	93.45	31.27	62.14	20.2	6.42
10	46	88.97	159.3	36.68	54.51	14.21	5.81
<b>Biji</b>							
0	79.7	60.84	36.08	23.5	31.89	14.13	0
100	24.5	46.57	80.31	17.5	43.1	22.73	2.07

Keterangan :

- UR = Banyak umbi per rumpun,
- BB = Bobot basah umbi,
- BK = Bobot kering umbi,
- DU = Diameter umbi,
- PD = Panjang daun,
- JD = Jumlah daun,
- UP = Umur panen.

Nilai KK pada tanaman kontrol baik pada tanaman asal biji maupun umbi cukup tinggi bahkan mencapai 60%. Pada penanaman di lapang seluruh perlakuan berada pada kondisi yang sama. Hal ini kemungkinan bahan tanam umbi Bima Brebes digunakan berasal dari sumber berbeda sebelumnya. Pada tanaman asal biji, tetua yang digunakan kemungkinan heterozigot karena untuk menghasilkan biji pada bawang merah perlu bantuan serangga atau disilangkan secara manual.

Pada penelitian ini digunakan dua macam bahan tanam, yaitu biji dan umbi. Efek iradiasi pada umbi sudah terlihat pada perlakuan dosis rendah ( $\leq 10$  Gy). Efek iradiasi biji terlihat pada dosis yang lebih tinggi dimana tanaman tidak mampu bertahan hidup pada dosis di atas 100 Gy. Kadar air yang tinggi pada umbi dapat meningkatkan efek iradiasi karena adanya radiolisis dari molekul air [20].

Secara umum, iradiasi mampu mempengaruhi fisiologi dan biokimia tanaman yang keseluruhannya dapat menghambat pertumbuhan tanaman [21],[22]. Pada dosis rendah tertentu iradiasi meningkatkan pertumbuhan tanaman [23]. Pada umbi bawang merah Bima Brebes, dosis 2 Gy mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman dan umbi. Dosis tersebut mendekati nilai LD<sub>20</sub> umbi yaitu sebesar 1.6 Gy.

Dosis iradiasi pada nilai LD<sub>50</sub> tidak meningkatkan keragaman pada seluruh karakter-karakter yang diamati, tetapi hanya beberapa karakter. Karakter yang mengalami peningkatan keragaman pada tanaman asal biji dan umbi tidak sama. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh iradiasi sinar gamma bersifat acak, baik pada perbedaan bahan tanam maupun karakter kuantitatif.

## KESIMPULAN

Pada bawang merah varietas Bima Brebes, umbi memiliki radiosensitivitas lebih tinggi dibandingkan biji. Iradiasi mampu menstimulasi pertumbuhan tanaman pada dosis yang mendekati LD<sub>20</sub>. Keragaman yang terbentuk tersebar secara acak pada berbagai dosis iradiasi dan karakter pengamatan, tetapi iradiasi sinar gamma secara umum mampu meningkatkan keragaman karakter bobot kering bawang merah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Kajian Hortikultura Tropika IPB yang telah mendanai penelitian ini dan PAIR-BATAN untuk penggunaan fasilitas iradiator.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D.A. Bisognin, "Breeding vegetatively propagated horticultural crops", *Crop Breed. Appl. Biotechnol.*, vol. 11, no. spe, pp. 35–43, 2012.
- [2] D. McKey, M. Elias, B. Pujol, A. Duputie, "The evolutionary ecology of clonally domesticated plants," *New Phytol.*, vol. 186, pp. 318–332, 2010.
- [3] E. Triharyanto, D. Purnomo, A. Yunus *et al.*, "Study of planting season to flowering potency, fruits and seed yields," *Glob. J. Eng. Sci. Res. Manag.*, vol. 2, no. 4, pp. 78–83, 2017.
- [4] J. Jankowicz-Cieslak, O.A. Huynh, M. Brozynska *et al.*, "Induction, rapid fixation and retention of mutations in vegetatively Propagated Banana," *Plant Biotechnol. J.*, vol. 10, no. 9, pp. 1056–1066, 2012.
- [5] E. Kovács, Keresztes, "Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells", *Micron*, vol. 33, no. 2, pp. 199–210, 2002.
- [6] I. Dwimahyani, S. Widiarsih, "The effects of gamma irradiation on the growth and propagation of in-vitro Chrysanthemum 3 shoot explants (cv. Yellow Puma)", *Atom Indones.*, vol. 36, no. 2, pp. 45–49, 2010.
- [7] Q. Y. Shu, B.P. Forster, H. Nakagawa, "Plant mutation breeding and biotechnology", *Plant Mutat. Breed. Biotechnol.*, pp. 1 – 608, 2012.
- [8] R. Zaka, C. Chenal, M. T. Missset, "Effects of low doses of short-term gamma irradiation on growth and development through two generations of *Pisum sativum*", *Sci. Total Environ.*, vol. 320, no. 2–3, pp. 121–129, 2004.
- [9] M. Amjad and M. A. Anjum, "Effect of gamma radiation on onion seed viability, germination potential, seedling growth and morphology", *Pak J. Agri S*, vol. 39, no. 3, pp. 202–206, 2002.
- [10] A. U. Batubara, Mariati, F. E. T. Sitepu, "Karakter pertumbuhan bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) varietas lokal Samosir pada beberapa dosis iradiasi sinar gamma," *J. Online Agroteknologi*, vol. 3, no. 2337, pp. 426–434, 2015.
- [11] L. Alfariatna, F. Kusmiyati, S. Anwar, "Karakter fisiologi dan pendugaan heritabilitas tanaman M1 bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) hasil induksi iradiasi sinar gamma," *J. Agro Complex*, vol. 2, no. 1, pp. 19, 2018.
- [12] D.S. Hanafiah, S. Yahya, D. Wirnas, "Induced mutations by gamma ray irradiation to Argomulyo soybean (*Glycine max*) variety," *Nusant. Biosci.*, vol. 2, no. 3, pp. 121–125, 2010.
- [13] R. Mangaiyarkarasi, M. Girija, S. Gnanamurthy, "Mutagenic effectiveness and efficiency of gamma rays and ethyl methane sulphonate in *Catharanthus roseus*," *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, vol. 3, no. 5, pp. 881–889, 2014.

- [14] D. Rajarajan, R. Saraswathi, D. Sassikumar, "Determination of lethal dose and effect of gamma ray on germination percentage and seedling parameters in Adt (r) 47 rice," *Int. J. Adv. Biol. Res.*, vol. 6, no. 2, pp. 328 – 332, 2016.
- [15] S. Bado, S. Nielen, M.A. Rafiri *et al.*, "In vitro methods for mutation induction in potato (*Solanum tuberosum* L.)," *African J. Biotechnol.*, vol. 15, no. 39, pp. 2132 – 2145, 2016.
- [16] Y.R. Anshori, S.I. Aisyah, L.K Darusman, "Induksi mutasi fisik dengan iradiasi sinar gamma pada kunyit (*Curcuma domestica* Val.)," *J. Hortik. Indones.*, vol. 5, no. 2, pp. 84, 2015.
- [17] R. Kebeish, E. Deef, N. El-Bialy, "Effect of gamma radiation on growth, oxidative stress, antioxidant system, and alliin producing gene transcripts in *Allium sativum*," *Int. J. Res. Stud. Biosci.*, vol. 3, no. 3, pp. 161 – 174, 2015.
- [18] S. Taheri, T.L. Abdullah, Z. Ahmad *et al.*, "Effect of acute gamma irradiation on *Curcuma alismatifolia* varieties and detection of DNA polymorphism through SSR marker," *Biomed Res. Int.*, vol. 2014, 2014.
- [19] A.S. Nikoloff, P. Ensor, T.P. Palmer *et al.*, "Between plant variation of asparagus cultivars," *N.Z. Agron. Soc.*, vol. 5, pp. 49 – 54, 1986.
- [20] Y. Hase, K. Satoh, H. Seito, Y. Oono, "Genetic consequences of acute/chronic gamma and carbon ion irradiation of *Arabidopsis thaliana*," *Front. Plant Sci.*, vol. 11, no. March, pp. 1 – 12, 2020.
- [21] A. Borzouei, M. Kafi, H. Khazaei, B. Naseriyan, "Effects of gamma radiation on germination and physiological aspects of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings," *Pakistan J. Bot.*, vol. 42, no. 4, pp. 2281 – 2290, 2010.
- [22] R.B. Setiawan, N. Khumaida, D. Dinarti, "Induksi mutasi kalus embriogenik gandum (*Triticum aestivum* L.) melalui iradiasi sinar gamma untuk toleransi suhu tinggi," *J. Agron. Indones.*, vol. 43, no. 1, pp. 36 – 44, 2015.
- [23] R. Gowthami, C. Vabbiarajan, J. Souframanien *et al.*, "Effect of gamma rays on quantitative traits of sesame (*Sesamum indicum* (L.) in M1 generation", *Int. J. Adv. Res.*, vol. 2, no. 8, pp. 593 – 597, 2014.

