

## **PENENTUAN LD<sub>50</sub> DAN PENDUGAAN KERAGAMAN MENTIMUN HASIL IRADIASI SINAR GAMMA**

### ***LD<sub>50</sub> Determination and Cucumber Phenotypic Variability from Gamma Irradiation***

Muhammad Roiyan Romadhon<sup>1\*</sup>, Yukarie Ayu Wulandari<sup>1</sup>,  
Nurya Yuniyati<sup>1</sup>, Syarifah Iis Aisyah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Agronomi dan Hortikultura, Institut Pertanian Bogor  
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

\*Penulis untuk Korespondensi: mroiyanripb@gmail.com

#### **ABSTRACT**

The increasing need for cucumbers is not balanced by the decreasing of plant productivity that encourages efforts to produce new improved varieties. One of the attempts to establish varieties is by utilizing mutation induction through gamma ray irradiation in seeds that can cause damage to plant chromosomes randomly. Breeding mutations with these physical mutagens can lead to the greatest genetic variability of chemical mutagens. Cucumber seeds irradiated by gamma rays with low doses of 0, 350, 400 and 450 Gray. The purpose of this study was to determine the Lethal Dose (LD50) cucumber as well as the analysis of population variability in M1 generation. The variability in M1 population is indicated by observation of quantitative characters (plant height, leaf number, leaf length, leaf width and flowering age) and qualitative characters (leaf color and leaf texture). The results of this study get a LD50 value of 333 Gray. The highest quantitative variability occurs at 450 Gray dose. Qualitative variability such as leaf color occurs at a dose of 450 Gray. Variability of leaf texture at doses of 350 and 400 Gray.

Keywords: Cucumber, gamma ray irradiation, LD50, mutation, variability

#### **ABSTRAK**

Kebutuhan mentimun yang semakin meningkat tidak diimbangi oleh produktivitas pertanamannya yang makin menurun sehingga mendorong upaya untuk menghasilkan varietas unggul baru. Salah satu upaya pembentukan varietas dilakukan dengan memanfaatkan induksi mutasi melalui iradiasi sinar gamma pada benih yang dapat mengakibatkan kerusakan pada kromosom tanaman secara acak. Pemuliaan mutasi dengan mutagen fisik ini dapat menimbulkan keragaman paling banyak dibanding mutagen kimia. Benih mentimun diiradiasi sinar gamma dengan dosis rendah 0, 350, 400 dan 450 Gray. Tujuan penelitian ini untuk menentukan *Lethal Dose* (LD50) mentimun serta analisis keragaman populasi pada generasi M1. Keragaman pada populasi M1 ditunjukkan dari pengamatan karakter kuantitatif (tinggi tanaman, jumlah daun, panjang daun, lebar daun dan umur berbunga) dan karakter kualitatif (warna daun dan tekstur daun). Hasil penelitian ini mendapatkan nilai LD50 sebesar 333 Gray. Keragaman seluruh karakter kuantitatif tertinggi terjadi pada dosis 450 Gray. Keragaman

karakter kualitatif seperti warna daun terjadi pada dosis 450 Gray. Keragaman tekstur daun pada dosis 350 dan 400 Gray.

Kata kunci : iradiasi sinar gamma, keragaman, LD50, mentimun, mutasi

## PENDAHULUAN

Mentimun (*Cucumis sativus* L.) merupakan salah satu tanaman yang banyak dibudidayakan oleh petani di Indonesia (Tufeila *et al.*, 2014). Permintaan buah mentimun semakin meningkat dari tahun ke tahun (Wulananggraeni *et al.*, 2016). Namun semakin meningkatnya permintaan justru produktivitas mentimun semakin menurun dari tahun ke tahun. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2015) produksi mentimun pada tahun 2009-2015 mengalami penurunan dari 10.39 ton ha<sup>-1</sup> menjadi 9.97 ton ha<sup>-1</sup>. Penurunan produktivitas mentimun salah satunya dapat disebabkan oleh benih dari varietas yang dibudidayakan. Kebutuhan benih unggul berdaya hasil tinggi dan tahan terhadap cekaman biotik dan abiotik semakin meningkat, sehingga kegiatan pemuliaan tanaman untuk menghasilkan varietas baru perlu dilakukan (Pardal, 2014).

Petani di Indonesia banyak menanam varietas mentimun introduksi karena memiliki buah yang lebih besar dan seragam, akan tetapi benih ini tidak dapat ditanam kembali pada periode tanam berikutnya. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya khusus untuk memperbaiki sifat benih tersebut. Salah satu upaya yang dapat dilakukan dengan induksi mutasi diantaranya memanfaatkan mutagen fisik melalui iradiasi sinar gamma. Menurut Acquaah (2007) induksi mutasi dapat menyebabkan perubahan secara tiba-tiba dan acak pada materi genetik (genom, kromosom dan gen).

Mutasi kromosom dengan sinar gamma menghasilkan tanaman yang tahan penyakit (Ahloowalia *et al.*, 2004). Pemuliaan dengan mutagen sinar gamma berdampak pada keragaman buah tomat untuk umur berbunga, jumlah tandan per tanaman, ukuran buah dan tingkat kekerasan buah (Damayanti *et al.*, 2007). Peningkatan keragaman genetik diharapkan terjadi sebagai dasar untuk melakukan seleksi sampai didapatkan karakter unggul yang bermanfaat untuk kemajuan pertanian khususnya mentimun di Indonesia.

Sinar gamma memberikan efek kerusakan fisiologi berupa hambatan pertumbuhan, sterilitas, dan kematian tanaman pada generasi M1 sehingga banyak diaplikasikan untuk meningkatkan keragaman genetik (de Micco *et al.*, 2011; Santosa *et al.*, 2014). Induksi mutasi menggunakan iradiasi menghasilkan mutan paling banyak (sekitar 75%) bila dibandingkan mutagen kimia. Sinar gamma merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang pendek dan energi tinggi, yang berinteraksi dengan atom-atom atau molekul untuk memproduksi radikal bebas dalam sel. Radikal bebas tersebut akan menginduksi mutasi dalam tanaman sebab radikal tersebut akan menghasilkan kerusakan sel atau malah memberikan pengaruh penting dalam komponen sel tanaman (Kovacs & Keresztes, 2002). Keuntungan menggunakan sinar gamma adalah dosis yang digunakan lebih akurat dan penetrasi penyinaran ke dalam sel bersifat homogen. Iradiasi sinar gamma dapat menyebabkan kombinasi gen-gen baru dengan frekuensi mutasi tinggi. Mutasi ini digunakan untuk memperbaiki banyak karakter yang bermanfaat yang mempengaruhi ukuran tanaman, waktu berbunga dan waktu panen, warna buah, toleransi terhadap penyakit dan yang lainnya (IAEA, 2009).

Respon terhadap induksi mutasi melalui iradiasi bervariasi antar tanaman, tergantung dari morfologi dan fisiologi tanaman, jenis, umur, dosis. Pengaruh sinar gamma terhadap perkecambahan benih yang diradiasi mungkin disebabkan oleh aktivasi sintesa RNA atau sintesa protein, yang terjadi pada tahap awal perkecambahan (Abdel-Hady *et al.*, 2008). Peningkatan atau penurunan persentase perkecambahan sebagai akibat dari perlakuan iradiasi menggunakan sinar gamma pada beberapa jenis tanaman telah banyak diteliti. Habba (1989) melaporkan bahwa peningkatan dosis iradiasi hingga 100 Gy, meningkatkan perkecambahan benih, namun kemudian menurun ketika dosis iradiasi ditingkatkan. Marcu *et al.* (2012) juga menyatakan bahwa iradiasi dosis tinggi dapat mengurangi perkecambahan benih. Fenomena ini dikenal dengan istilah pengaruh hormesis yang didefinisikan sebagai stimulasi pada pertumbuhan tanaman pada dosis rendah dan penghambatan pada dosis yang tinggi (Luckey, 2003). Kuzin (1997) mengemukakan bahwa penyinaran jaringan tanaman dengan radiasi dosis rendah akan menginduksi radiasi sekunder yang merangsang pembelahan sel-sel dan juga mengaktifkan reseptor membran sel. Sementara, radiasi benih dengan sinar gamma dosis tinggi mengganggu sintesa protein, keseimbangan hormon, pertukaran gas, pertukaran air dan aktivitas enzim (Hameed *et al.*, 2008).

Penelitian ini bertujuan untuk dapat menentukan nilai *Lethal Dose* (LD<sub>50</sub>) tanaman mentimun serta analisis keragaman populasi mentimun hasil induksi mutasi melalui iradiasi sinar gamma pada generasi M1.

## BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan dalam praktikum ini meliputi benih mentimun, media tanam, pupuk NPK dan gandasil D dan B, AB Mix. Alat yang digunakan meliputi *gamma chamber*. Benih mentimun diiradiasi di Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional (PATIR BATAN) Pasar Jumat Jakarta Selatan pada bulan Maret 2017. Dosis iradiasi yang digunakan adalah 0, 350, 400 dan 450 Gy. Benih hasil iradiasi disemai di kebun percobaan Sabisa Farm IPB.

Penghitungan LD<sub>50</sub> dilakukan pada saat tanaman berumur 2 minggu setelah semai (MSS) dengan menghitung rasio tanaman yang hidup terhadap total tanaman, kemudian dianalisis menggunakan program *Best Curve-fit Analysis*. Selanjutnya dipindah ke *polybag*. Karakter yang diamati yaitu karakter kuantitatif (tinggi tanaman, jumlah daun, panjang daun, lebar daun, umur berbunga) dan kualitatif (warna, tekstur daun) tanaman mentimun. Pengamatan dilakukan dengan membandingkan tanaman perlakuan dengan tanaman kontrol. Data kuantitatif dan kualitatif diolah dengan *Microsoft Excel* kemudian dianalisis dengan metode Analisis klaster, aplikasi R serta minitab.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

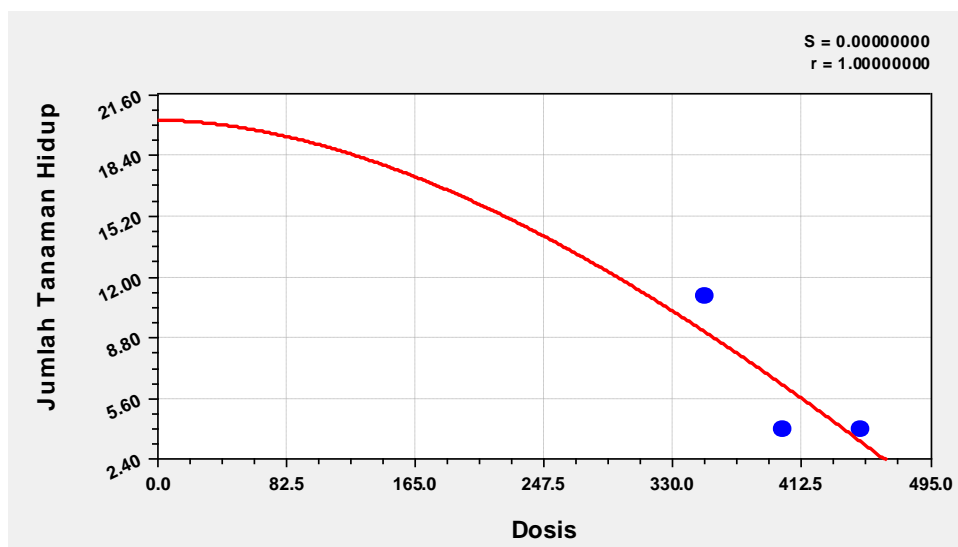
Induksi mutagen fisik berupa iradiasi sinar gamma menyebabkan perubahan fisiologi pada tanaman. Perubahan genetik juga terjadi karena pengaruh mutagen fisik dapat menyebabkan ekspresi gen berbeda dengan keadaan normalnya dan keragaman fenotipenya bisa sangat bervariasi. Tanaman yang diiradiasi dengan sinar gamma akan mengalami kerusakan fisiologi tetapi

akan mengalami pemulihan. Sedangkan gen yang termutasi akan diwariskan pada generasi berikutnya. Penentuan dosis iradiasi sinar gamma setiap tanaman berbeda. Informasi tentang LD<sub>50</sub> diperlukan untuk mengetahui pada dosis berapa sejumlah 50% dari tanaman akan mati jika dilakukan iradiasi. Metode untuk menentukan LD<sub>50</sub> pada penelitian ini dilakukan dengan pengamatan morfologi seperti persentase perkecambahan.

Tabel 1. Persentase tanaman hidup pada umur tanaman 1 MSS

Dosis	Tanaman hidup (%)
0	100
350	55
400	20
450	20

Perbedaan persentase tumbuh tanaman disebabkan karena perlakuan taraf dosis. Perlakuan dosis 0 Gy menunjukkan tanaman tumbuh 100%, sedangkan pada dosis 350, 400 dan 450 Gy terdapat sejumlah tanaman yang mati (Tabel 1). Pramono (2011) menyatakan bahwa perlakuan iradiasi sinar gamma menyebabkan tanaman illes-iles mengalami kematian, dormansi yang panjang (penundaan pertumbuhan kecambah), serta munculnya keragaman antar individu tanaman.



Gambar 1. Persentase tanaman mati berdasarkan program *Best Curve-fit Analysis*

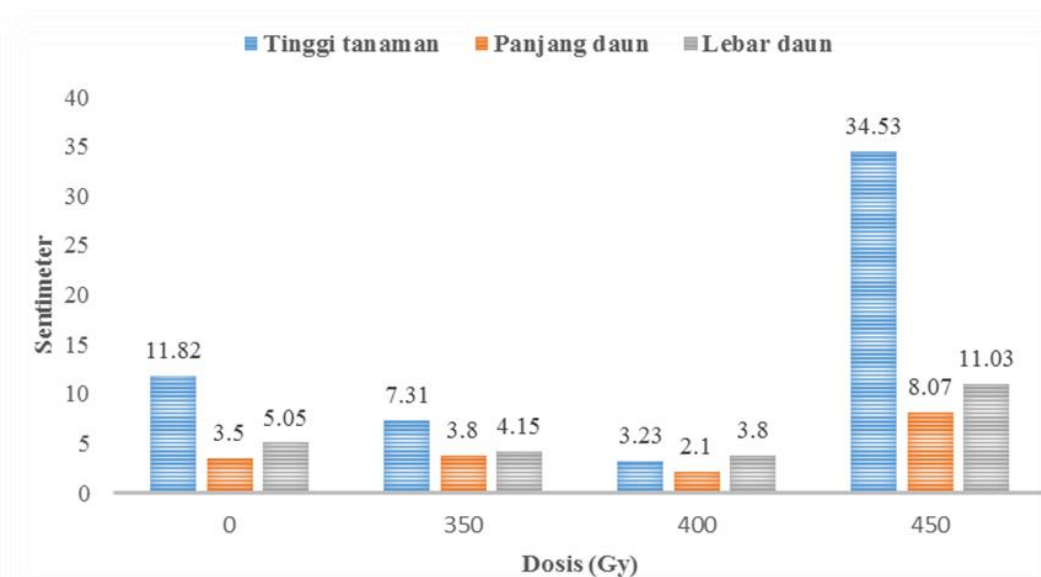
Tanaman yang diinginkan dari kegiatan mutasi berada pada kisaran dosis LD<sub>50</sub> (Aisyah, 2006). Penentuan persentase tanaman mati dengan program *Best Curve-fit Analysis* merekomendasikan kurva dengan tipe MM model. Hal tersebut didasarkan pada nilai S (standar deviasi) terendah (0.00) dan nilai r (koefisien korelasi) tertinggi sebesar 1.00 (jika dibandingkan dengan bentuk kurva lainnya). LD<sub>50</sub> diperoleh pada dosis 333 Gy (Gambar 1).

Perlakuan dosis iradiasi sinar gamma yang berbeda memberikan hasil yang berbeda pada pertumbuhan tanaman mentimun baik terhadap karakter kuantitatif maupun kualitatif yang diamati. Karakter kuantitatif seperti tinggi

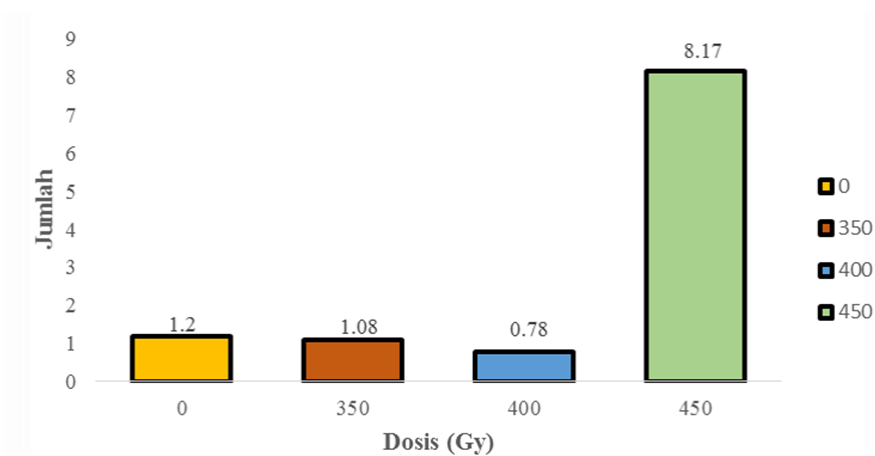
tanaman, jumlah daun, panjang daun dan lebar daun pada dosis 450 Gy teramati paling tinggi dibandingkan tanaman dengan dosis 350 Gy, 400 Gy maupun kontrol (Tabel 2).

Tabel 2. Karakter kuantitatif tanaman mentimun hasil iradiasi sinar gamma

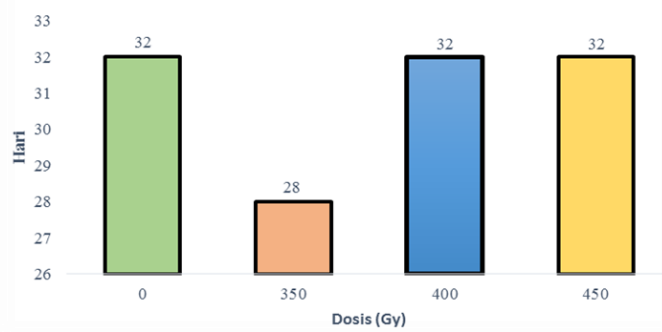
Karakter	Dosis (Gy)				Standard error
	0	350	400	450	
Tinggi tanaman (cm)	11.82	7.31	3.23	<b>34.53</b>	13.98
Jumlah daun	1.20	1.08	0.78	<b>8.17</b>	3.58
Panjang daun (cm)	3.50	3.80	2.10	<b>8.07</b>	2.58
Lebar daun (cm)	5.05	4.15	3.80	<b>11.03</b>	3.39
Umur berbunga (HST)	32.00	28.00	32.00	32.00	2.00



Gambar 2. Keragaan tanaman mentimun pada empat dosis iradiasi sinar gamma



Gambar 3. Keragaan jumlah daun mentimun pada empat dosis iradiasi sinar gamma



Gambar 4. Keragaan umur berbunga mentimun pada empat dosis iradiasi sinar gamma

Penggunaan iradiasi sinar gamma yang merupakan mutagen fisik menyebabkan tumbukan materi dalam sel tanaman sehingga terjadi mutasi acak serta kerusakan fisiologis dalam metabolisme perkembangan sel, sehingga potensi pertumbuhannya dapat lebih cepat atau lebih lambat. Umumnya semakin tinggi dosis sinar gamma akan menyebabkan penurunan pertumbuhan dan menghambat perkembangan tanaman. Namun, pada penelitian ini justru diperoleh pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman mentimun yang lebih baik pada perlakuan iradiasi sinar gamma dengan dosis yang tinggi (450 Gy). Anshori (2014) dalam penelitiannya menyatakan bahwa tanaman kunyit yang diteliti memberikan pertumbuhan karakter vegetatif yang positif dibanding dengan kontrol dimana perlakuan dosis iradiasinya semakin tinggi. Perbedaan tinggi tanaman, jumlah daun, panjang daun, lebar daun dan umur berbunga pada berbagai dosis radiasi dapat dilihat pada Gambar 2-4.

Iradiasi sinar gamma bertujuan untuk meningkatkan keragaman genetik pada mutan yang dapat diwariskan kepada generasi selanjutnya. Tabel 3 menunjukkan adanya variasi genetik pada pertumbuhan fase vegetatif tanaman mentimun. Variasi genetik pada fase pertumbuhan ini dapat dilihat dari nilai standar deviasi yang tinggi dari suatu karakter. Standar deviasi menunjukkan *range* level maksimum dan minimum pertumbuhan pada tiap karakter vegetatif dari tanaman yang diaplikasikan perlakuan iradiasi sinar gamma pada berbagai dosis.

Tabel 3. Kisaran nilai tengah pada karakter vegetatif tanaman mentimun populasi M1

Karakter	Dosis (Gy)			
	0	350	400	450
Tinggi tanaman (cm)	11.82±0.43	7.31±3.95	3.23±1.55	34.53±16.58
Jumlah daun	1.20±0.28	1.08±1.34	0.78±0.52	8.17±3.62
Panjang daun (cm)	3.50±0.70	3.80±0.30	2.10±0.00	8.07±2.11
Lebar daun (cm)	5.05±0.05	4.15±0.55	3.80±0	11.03±1.52

Dosis 450 Gy memberikan nilai variasi tertinggi pada fase pertumbuhan di semua karakter vegetatifnya. Wardhani (2005) dan Saputra (2012) menyatakan bahwa induksi mutasi fisik menggunakan mutagen sinar gamma akan mempengaruhi keragaan karakter vegetatif tanaman mentimun hasil iradiasi.

Keragaman tertinggi dapat membantu pemulia untuk melakukan seleksi sesuai dengan arah dan kebutuhan pemuliaan yang diinginkan.

Tabel 4. Keragaman karakter kualitatif pada warna dan tekstur daun tanaman mentimun hasil iradiasi sinar gamma

Dosis iradiasi (Gy)	Warna daun	Tekstur daun
0	Hijau muda	Bergerigi
350	Hijau muda	Halus
400	Hijau muda	Halus
450	Hijau tua	Bergerigi



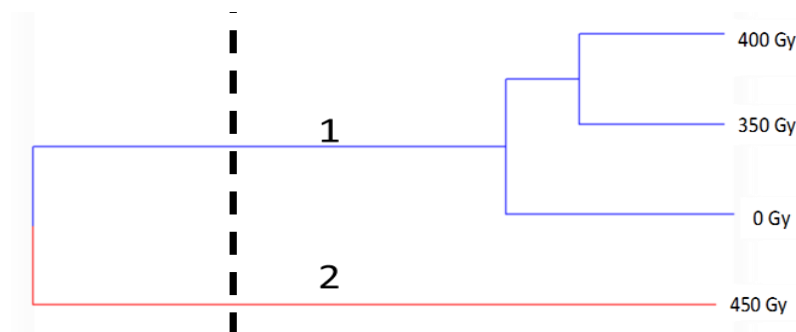
Gambar 5. Keragaman karakter kualitatif warna dan tekstur daun mentimun pada empat dosis iradiasi sinar gamma



Gambar 6. Keragaman karakter kualitatif bentuk bunga mentimun pada empat dosis iradiasi sinar gamma

Iradiasi sinar gamma ternyata juga menyebabkan perubahan keragaman kualitatif mentimun. Dalam penelitian ini, terjadi perubahan pada karakter warna daun dan tekstur daun tanaman mentimun, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Bentuk morfologi daun tanaman kontrol (0 Gy) berukuran normal sedangkan daun pada tanaman dengan dosis radiasi 350 Gy berukuran paling kecil dibandingkan dengan semua perlakuan. Ukuran daun pada dosis 400 Gy lebih kecil dari kontrol sedangkan ukuran daun dengan dosis 450 Gy paling besar dari semua dosis perlakuan (Gambar 5). Ukuran bunga mentimun dengan dosis radiasi 450 Gy paling besar dari semua perlakuan sedangkan ukuran bunga pada dosis 350 Gy dan 400 Gy berukuran lebih kecil bila dibandingkan dengan kontrol (Gambar 6).

Keragaman genetik dari suatu tanaman dapat diperoleh dengan induksi sinar gamma yang mengakibatkan perubahan susunan DNA sehingga berdampak pada keragaman setiap individu tanaman yang bervariasi. Perbedaan variasi genetik tersebut sangat penting bagi pemulia tanaman sebagai materi awal dalam merakit varietas tanaman yang unggul. Pengelompokan galur sangat diperlukan sehingga dibutuhkan analisis gerombol (Gambar 7). Analisis gerombol digunakan untuk mengelompokkan galur sehingga dapat membantu pemulia tanaman untuk keperluan pemilihan tetua dalam perakitan varietas unggul baru (Wahyuni *et al.*, 2014; Biantari *et al.*, 2014).



Gambar 7. Analisis gerombol tanaman mentimun pada empat dosis iradiasi sinar gamma

Hasil analisis gerombol empat dosis radiasi sinar gamma pada tanaman mentimun berdasarkan karakter kuantitatif dan kualitatif menunjukkan bahwa terdapat dua pengelompokan (Gambar 7). Kelompok pertama adalah tanaman mentimun populasi M1 dengan dosis 0 Gy, 350 Gy, dan 400 Gy sedangkan kelompok kedua adalah tanaman mentimun populasi M1 dengan dosis 450 Gy. Pengelompokan tersebut berdasarkan nilai koefisien ketidakmiripan. Semakin besar nilai koefisien ketidakmiripan maka akan semakin besar perbedaan antar tanaman (pada perlakuan dosis radiasi). Tanaman mentimun hasil iradiasi sinar gamma dengan dosis 0 hingga 400 Gy menunjukkan nilai koefisien ketidakmiripan kurang dari 0.50 (Tabel 5) sehingga dianggap mirip. Sebaliknya, tanaman dengan dosis 450 Gy jika dibandingkan dengan dengan tanaman berdosis 0-400 Gy menunjukkan angka koefisien ketidakmiripan yang tinggi yaitu lebih dari 0.50 sehingga dianggap berbeda dengan tanaman kontrol (0 Gy).

Tabel 5. Koefisien ketidakmiripan empat dosis tanaman mentimun populasi M1

Dosis (Gy)	0	350	400	450
0				
350	0.33			
400	0.25	0.21		
450	0.61	0.93	0.86	

Analisis komponen utama berguna untuk mereduksi data sehingga hanya data-data yang dianggap penting yang digunakan dan sudah mewakili karakter lain. Suketi *et al.* (2010) menyatakan bahwa analisis komponen utama dilakukan untuk mengetahui ciri atau karakter yang membedakan setiap genotipe.

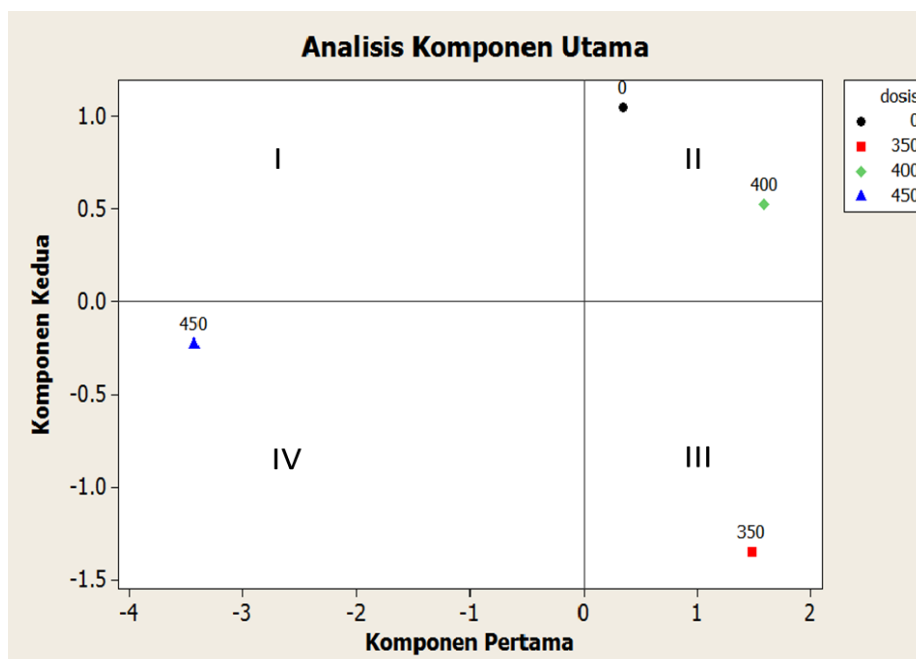


Tabel 6. Analisis komponen utama menunjukkan *Eigen values*, proporsi keragaman, dan total kumulatif keragaman tanaman mentimun M1

Komponen Utama	<i>Eigen values</i>	Proporsi keragaman (%)	Total kumulatif (%)
PC1	5.55	79.30	79.30
PC2	1.08	15.50	94.80
PC3	0.37	5.20	1.00
PC4	0.00	0.00	1.00
PC5	0.00	0.00	1.00
PC6	0.00	0.00	1.00
PC7	0.00	0.00	1.00

Tabel 7. Analisis komponen utama pada karakter kuantitatif dan kualitatif tanaman mentimun populasi M1 hasil iradiasi sinar gamma

Karakter	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Tinggi tanaman	-0.42	-0.08	0.09	-0.01	-0.34	0.22	0.80
Jumlah daun	-0.42	-0.14	-0.23	-0.75	-0.26	-0.24	-0.26
Panjang daun	-0.41	-0.26	0.12	0.35	-0.28	0.54	-0.52
Lebar daun	-0.42	-0.07	-0.08	0.53	-0.04	-0.73	-0.03
Umur berbunga	-0.18	0.83	-0.46	0.11	-0.16	0.16	-0.07
Warna daun	-0.41	-0.14	-0.31	-0.04	0.81	0.22	0.09
Tekstur daun	0.32	-0.44	-0.78	0.17	-0.23	0.07	0.10



Gambar 8. Analisis komponen empat dosis mentimun populasi M1

Keragaman karakter tanaman mentimun hasil iradiasi sinar gamma dengan total kumulatif 94.80 % serta dengan nilai *Eigen values* 1.05 (Tabel 6). Nilai *Eigen values* lebih dari 0.5 menunjukkan keragaman karakter tinggi. Sebaliknya, jika nilai *Eigen values* 0.00 maka nilai keragaman karakter pada populasi tersebut rendah (sama). Karakter yang termasuk dalam komponen

pertama yaitu tinggi tanaman, jumlah daun, panjang daun, lebar daun, dan warna daun sedangkan karakter yang termasuk pada komponen kedua yaitu umur berbunga dan tekstur daun (Tabel 7). Karakter yang tergolong sebagai komponen pertama sangat efektif digunakan untuk karakter seleksi.

Pengelompokkan tanaman hasil iradiasi sinar gamma dilakukan berdasarkan posisi kuadran. Pada penelitian ini posisi kuadran dua adalah tanaman mentimun dengan dosis 0 dan 400 Gy berdasarkan kesamaan karakter jumlah daun, panjang daun, dan warna daun. Kuadran ketiga diperuntukkan bagi tanaman mentimun dengan dosis 350 Gy. Selanjutnya kuadran keempat untuk tanaman mentimun dengan dosis 450 Gy (Gambar 8).

## KESIMPULAN

Induksi mutasi dengan sinar gamma pada tanaman mentimun diperoleh LD<sub>50</sub> sebesar 333 Gy. Keragaman karakter kuantitatif paling tinggi pada dosis 450 Gy. Keragaman karakter kualitatif warna daun terjadi pada dosis 450 Gy dan keragaman pada tekstur daun terjadi pada dosis 350 dan 400 Gy. Pengelompokkan tanaman hasil induksi mutasi dibagi menjadi dua kelompok besar. Kelompok pertama mentimun dengan dosis 0, 350, dan 400 Gy sedangkan kelompok kedua adalah tanaman dengan dosis 450 Gy. Hasil analisis komponen utama menunjukkan total kumulatif keragaman 94.80% pada komponen kedua. Pengelompokkan mentimun dosis 0 dan 400 Gy berdasarkan pada karakter jumlah daun, panjang daun, dan warna daun.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Hady, M.S., E.M. Okasha, S.S.A. Soliman, M. Tallat. 2008. Effect of gamma radiation and gibberellic acid on germination and alkaloid production in *Atropa belladonna* L. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2:401-405.
- Acquaah, G. 2007. Participes of plant genetic and breeding. Blackwell Publishing Oxford. UK.
- Ahloowalia, B.S., Maluszynski, Nichterlein. 2004. Global impact of mutation-derived varieties. Euphytica. 135:187-204.
- Aisyah, S.I. 2006. Mutasi Induksi. *Dalam* S. Sastrosoemarjo (*Eds.*). Sitogenetika Tanaman. IPB Press Bogor. Hal 159-178.
- Anshori, S.R. 2014. induksi mutasi fisik dengan iradiasi sinar gamma pada kunyit (*Curcuma domestica* Val.). Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Biantari, A.S., S.W. Ardie, N. Khumaida. 2017. Karakterisasi morfologi sepuluh genotipe hotong (*Setaria italica* (L.) Beauv). Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- BPS. 2015. Statistika Produksi Hortikultura Tahun 2014. Kementerian Pertanian Direktorat Jenderal Hortikultura.
- Damayanti N., R.H. Murti, Toekidjo. 2007. Keragaman galur-galur tomat (*Lycopersicon esculentum*) M4 hasil iradiasi sinar gamma <sup>60</sup>Co. Ilmu Pertanian. 14:34-45.
- De Micco, V., C. Arena, D. Pignalosa, M. Durante. 2011. Effects of sparsely and densely ionizing radiation on plants. Radiat. Environ. Biophys. 50:1-19.

- Habba, I.E. 1989. Physiological effect of gamma rays on growth and productivity of *Hyoscyamus muticus* L. and *Atropa belladonna* L. Ph.D. Thesis. Fac. Agric. Cairo Univ., Cairo, Egypt. 65-73.
- Hameed, A., T.M. Shah, M.B. Atta, M.A. Haq, H. Sayed. 2008. Gamma irradiation effects on seed germination and growth, protein content, peroxidase and protease activity, lipid peroxidation in desi and kabuli chickpea. *Pakistan Journal of Botany*. 40:1033–1041.
- IAEA. 2009. Induced Mutation in Tropical Fruit Trees. IAEA-TECDOC-1615. Plant Breeding and Genetics Section. International Atomic Energy Agency.
- Kovacs, E., A. Keresztes. 2002. Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cell. *Micron*. 33:199-210.
- Kuzin, A.M. 1997. Natural atomic radiation and phenomenon of life. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 123:313–315.
- Luckey, T. 2003. Radiation hormesis overview. *RSO Magazine*. 4:19–36.
- Marcu, D., V. Cristea, L. Daraban. 2012. Dose-dependent effects of gamma radiation on lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata) seedlings. *International Journal of Radiation Biology*. 1–5.
- Pardal, S.J. 2014. Teknik mutasi untuk pemuliaan tanaman. <http://bbbiogen.litbang.pertanian.go.id> [15 Mei 2017].
- Pramono, S. 2011. Studi iradiasi sinar gamma pada tanaman iles-iles (*Amorphophallus muelleri* Blume). Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Santosa, E., S. Pramono, Y. Mine, and N. Sugiyama. 2014. Gamma irradiation on growth and development of *Amorphophallus muelleri* Blume. *J. Agron. Indonesia* 42 (2) : 118-123. Shu, Q.Y. 2013.
- Saputra M.H.C. 2012. Pengaruh mutasi fisik melalui iradiasi sinar gamma terhadap keragaan bunga matahari (*Helianthus annuus* L.). Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Suketi K., R. Poerwanto, S. Sujiprihati, Sobir, W.D. Widodo. 2010. Analisis kedekatan hubungan antar genotipe pepaya berdasarkan karakter morfologi dan buah. *J. Agron. Indonesia*. 38 (2):130-137.
- Tufaila, M., D.D. Laksana, S. Alam. 2014. Aplikasi kompos kotoran ayam untuk meningkatkan hasil tanaman mentimun (*Cucumis sativus* L.) di tanah masam. *Jurnal Agrotekno*. 4(2):120-127.
- Wahyuni, S. 2014. Analisis genetik karakter kuantitatif dan pecah buah pada tanaman tomat. Tesis. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Wardhani, M.U.D. 2005. Pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap keragaan anggrek *Brachypeza indusiata* (Reichb. F) garay secara *in vitro*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Wulanangraeni, R., Damanhuri, S.L. Purnamaningsih. 2016. Pengaruh perbedaan tingkat kemasakan buah pada 3 genotipe mentimun (*Cucumis sativus* L.) terhadap kualitas benih. *Jurnal Produksi Tanaman*. 4(5):332-341.