



Research Article

Radiosensitivitas dan Pengaruh Radiasi Sinar Gamma terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tomat (*Solanum lycopersicum L.*)

*Radiosensitivity and Effect of Gamma Radiation Dose on Growth and Production of Tomato (*Solanum lycopersicum L.*)*

Prameswari Permata Insani^{1*}, Syaiful Anwar¹ dan Karno¹

¹Departemen Pertanian, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Sudarto No. 13, Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

*Corresponding author: prameswaripermatains@students.undip.ac.id

ABSTRAK

This study aims to determine the radiosensitivity of tomato plants given by gamma ray radiation through the LD50 value, and to examine the effect of gamma ray irradiation dose on the growth and production characteristics of tomato plants. The research was carried out in March – August 2022 at the screenhouse and Laboratory of Physiology and Plant Breeding, Diponegoro University. The irradiation given at the National Nuclear Energy Agency of Indonesia, National Research and Innovation Agency, Jakarta. The study used a completely randomized design (CRD) with a dose of gamma ray radiation as a treatment, namely: (G0) Control, (G1) 125 Gy, (G2) 250 Gy, (G3) 375 Gy, and (G4) 500 Gy and consisted of 5 replicates. The results showed that the LD50 value of tomatoes was 460,23 Gy. Gamma rays had a significant effect on the growth and production characteristics of tomatoes, such as plant height, flowering age, harvest age, number, and weight per plant, but had no effect on stem diameter characters.

Keywords: Irradiation, LD50, Gamma-ray, Tomato

PENDAHULUAN

Tomat (*Solanum lycopersicum L.*) merupakan salah satu komoditas sayuran buah penting yang banyak dimanfaatkan baik untuk dikonsumsi secara langsung maupun sebagai bahan baku industri pangan. Buah tomat memiliki banyak manfaat dalam kehidupan manusia sehingga tanaman ini memiliki peluang pasar untuk dibudidayakan secara luas. Menurut BPS (2020), nilai impor tomat segar ke Indonesia pada tahun 2020 mencapai angka US\$ 17,47 juta dimana angka ini meningkat sebesar 20,86% dari tahun sebelumnya. Peningkatan nilai impor tomat ini mengindikasikan bahwa produksi tomat lokal di Indonesia perlu ditingkatkan.

Tomat mawar merupakan salah satu tomat varietas lokal asli Indonesia. Tomat mawar memiliki keunggulan yaitu dapat dibudidayakan di dataran rendah dengan suhu tinggi dan tahan pada beberapa penyakit (Aribawa dan Kariada, 2016). Tomat mawar memiliki rasa yang asam dengan bentuk yang berbeda dengan buah tomat yang dijual di pasaran karena memiliki lekuk kuat pada pangkal buahnya sehingga disebut mirip dengan bunga. Tomat mawar merupakan jenis tomat indeterminate dengan potensi hasil 2-3 kg/tanaman dan dapat dipanen pada umur 70 - 75 hari setelah tanam (Elvira et al., 2014).

Pemuliaan tanaman merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam menghasilkan varietas tomat lokal yang lebih unggul. Induksi mutasi merupakan salah satu metode pemuliaan tanaman yang dilakukan dengan cara memberikan perubahan genetik melalui usaha manusia berupa pemberian mutagen. Sinar gamma merupakan salah satu sinar elektromagnetik yang diproduksi oleh radioaktivitas atau proses reaksi nuklir. Radiasi sinar gamma memberikan energi tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya mutasi genetik pada tanaman. Sinar gamma yang diberikan pada bahan tanam akan mengakibatkan tanaman memiliki keragaman hasil yang berbeda dengan induknya (Suwarno et al., 2013).

Penggunaan radiasi sinar gamma diketahui telah banyak berhasil meningkatkan keragaman tanaman dan menghasilkan efek positif pada karakter yang dihasilkan. Sutapa dan Kasmawan (2016) melaporkan tanaman tomat yang diberi perlakuan radiasi sinar gamma menghasilkan pertumbuhan fisiologis yang unggul pada dosis 100 Gy dibandingkan dosis dibawah dan diatasnya. Romadhon et al., (2018) menunjukkan bahwa 15 genotipe tomat yang diberi radiasi sinar gamma dosis 495 Gy dan 990 Gy menunjukkan hasil yang baik dan ditemukan 3 genotipe tomat yang memiliki produktivitas tinggi dan tahan pecah buah.

Dosis merupakan kadar dari suatu bahan yang dapat mempengaruhi organisme dimana makin besar dosisnya maka semakin besar pula kadar bahan yang diberikan. Dosis radiasi sinar gamma dapat berpengaruh dan memberikan efek positif maupun negatif pada tanaman yang diberikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui radiosensitivitas tanaman tomat mawar yang diberi radiasi sinar gamma melalui nilai LD50, dan mengkaji pengaruh dosis iradiasi sinar gamma terhadap karakter pertumbuhan dan produksi tanaman tomat.

MATERI DAN METODE

Waktu dan tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret – Agustus 2022 di screenhouse blok E Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro. Perlakuan Iradiasi dilakukan di Pusat Riset dan Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi (PRTAIR), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Pasar Jumat, Jakarta Selatan. Analisis kadar gula dan pengamatan karakter morfo-agronomi dilakukan di Laboratorium Fisiologi dan Pemuliaan Tanaman, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro.

Materi Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bahan genetik berupa benih tomat varietas Mawar, tanah, pupuk kandang, arang sekam, dan pupuk Urea, SP36, dan KCl. Alat yang digunakan antara lain adalah Iradiator Co-60 Gamma Cell 220 upgraded untuk perlakuan iradiasi, tray semai, polybag 40 x 40 cm, ajir, plastik, alat siram, cangkul, cetok, timbangan digital, meteran pita, refraktometer, penggaris, gunting, amplop, label, alat tulis dan kamera.

Metode penelitian

Rancangan percobaan. Penelitian ini disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) monofaktor dengan satu faktor dosis sebagai perlakuan dan 5 ulangan sehingga terdapat 25 unit percobaan. Tiap ulangan terdiri dari 120 benih yang diradiasi.

Perlakuan iradiasi dilakukan dengan memberikan induksi radiasi sinar gamma melalui alat iradiator Co-60 Gamma Cell 220 upgraded. Perlakuan dosis iradiasi sinar gamma yang diberikan yaitu (G0) 0 Gy, (G1) 125 Gy, (G2) 250 Gy, (G3) 375 Gy, dan (G4) 500 Gy. Benih yang telah diradiasi kemudian disemai pada tray untuk diamati daya berkecambahnya pada 14 HSS. Bibit yang telah berumur 21 HSS kemudian dipindah tanam ke polybag masing-masing satu tanaman tiap polybag sehingga terdapat 25 unit tanaman.

Pemeliharaan terdiri dari penyiraman, pemupukan, dan penyiangan, Penyiraman dilakukan dua kali sehari. Pemupukan tanaman dilakukan dengan melingkar disekitar tanaman dengan dosis pemupukan yang digunakan sesuai dengan anjuran yaitu 150 kg N. ha⁻¹ (Urea 4,09 g. polybag⁻¹), 150

kg P₂O₅. ha⁻¹ (TSP 4,09 g. polybag⁻¹) dan 100 kg K₂O. ha⁻¹ (KCl 2,512 g. polybag⁻¹). Pengendalian hama dan penyakit dilakukan menggunakan pestisida bahan aktif Profenofos dan fungisida bahan aktif Mancozeb 80% dengan dosis rendah.

Pemanenan dilakukan dua kali setiap satu minggu sejak umur awal panen 70 HST hingga masa akhir panen 100 HST. Pemanenan dilakukan dengan cara memanen buah yang telah matang kemudian dikumpulkan dalam plastik dan diberi label tanaman.

Pengamatan Parameter dilakukan pada karakter pertumbuhan dan produksi tomat meliputi tinggi tanaman (cm), umur berbunga (hst), umur panen (hst), jumlah buah per-tanaman (buah) dan bobot buah per-tanaman (g).

Analisis data

Analisis data yang digunakan meliputi analisis ragam (uji F) yang dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur pada taraf 5% dan uji polynomial ortogonal (PO) apabila ada pengaruh nyata. Data persentase daya berkecambah pada 14 HSS dianalisis dengan membuat kurva regresi menggunakan *Curve Expert* untuk memperoleh informasi nilai LD₅₀.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Radiosensitivitas Tomat

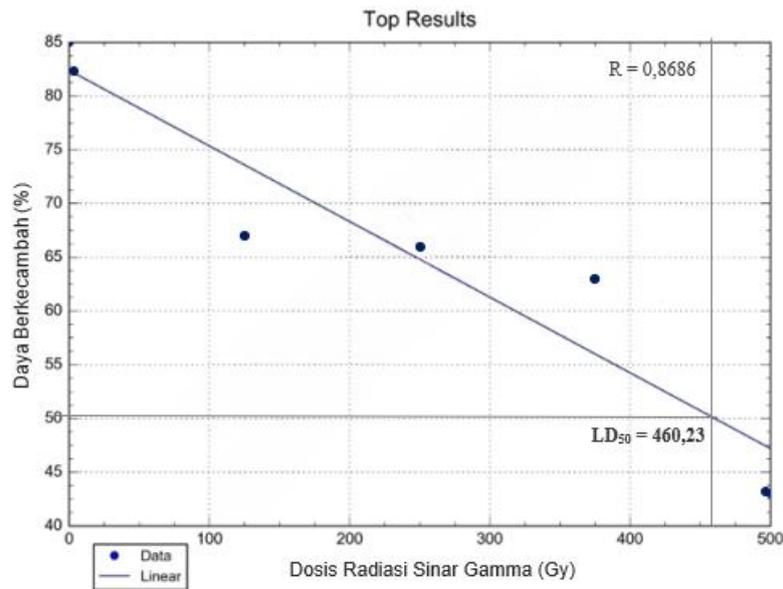
Persentase daya berkecambah tomat varietas mawar disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 dapat diamati bahwa daya berkecambah paling rendah dari tanaman tomat varietas mawar hasil iradiasi sinar gamma adalah sebesar 43,5% yang merupakan perlakuan dosis paling tinggi yaitu 500 gray.

Tabel 1. Persentase Daya Berkecambah

Dosis (Gray)	Daya berkecambah ----- % -----
0	85,4
125	67,2
250	66,4
375	63,3
500	43,5

Daya berkecambah tanaman tomat pada penelitian ini menurun sejalan dengan meningkatnya dosis sinar gamma yang diberikan pada benih. Penurunan daya berkecambah atau germinasi ini diduga disebabkan karena sinar gamma pada dosis yang tinggi menyebabkan perubahan genetik tanaman sehingga menyebabkan lethal. Menurut Rohmah (2019), radiasi sinar gamma dengan dosis yang tinggi memberikan energi kinetik yang lebih kuat sehingga dapat merusak DNA tanaman hingga tidak dapat berfungsi normal. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Zafar et al. (2022) pada perlakuan sinar gamma 450 Gy, dari 50 genotipe yang diuji hanya 7 yang berhasil berkecambah dengan penurunan sebesar 80,95% dibandingkan dengan kontrol, kemudian disusul dengan perlakuan 300 Gy yang menyebabkan penurunan sebesar 52% dan 150 Gy dengan penurunan sebesar 18%.

Radiosensivitas tanaman hasil radiasi sinar gamma dapat ditentukan berdasarkan nilai LD₅₀ yang dihasilkan. Hasil analisis linear fit pada tomat varietas mawar menunjukkan kurva regresi dengan persamaan $Y = 82,4 - 0,0704x$ (Gambar 1). Nilai LD₅₀ dari tanaman tomat varietas mawar berdasarkan persamaan tersebut adalah sebesar 460,23 gray dimana dosis ini menyebabkan kematian tanaman tomat varietas mawar sebesar 50%. Nilai LD₅₀ pada tanaman tomat varietas mawar ini berbeda apabila dibandingkan dengan LD₅₀ tanaman tomat varietas lainnya. Gamage et al. (2018) pada penelitiannya melaporkan bahwa nilai LD₅₀ pada tanaman tomat varietas Katugastota adalah sebesar 398,75 Gy, sedangkan Norfadzrin et al. (2007) melaporkan bahwa nilai LD₅₀ pada perkecambahan tanaman tomat varietas MT1 (*Lycopersicum esculentum* cv. MT1) adalah 640 Gy.

Gambar 1. Kurva linear LD₅₀.

Perbedaan nilai LD₅₀ pada beberapa varietas tomat ini menunjukkan bahwa tingkat sensitivitas tanaman tomat terhadap radiasi sinar gamma dapat berbeda-beda. Aisha et al. (2018) menyatakan bahwa setiap varietas tanaman memiliki respon yang berbeda terhadap dosis mutasi, sehingga perbedaan ini memiliki peran penting dalam menentukan dosis efektif pada perlakuan mutasi untuk tanaman. Perbedaan tingkat sensitivitas tanaman terhadap radiasi sinar gamma disebabkan oleh kadar air dan ionisasi benih tiap varietas yang berbeda-beda. Berdasarkan Oliveira et al. (2021) energi ionisasi yang dihasilkan oleh sinar gamma akan berinteraksi dengan atom dan molekul air yang menyebabkan terjadinya radikal bebas sehingga secara acak yang akan memodifikasi komponen sel pada benih.

Pertumbuhan Tanaman Tomat

Pengaruh radiasi sinar gamma terhadap tanaman tomat dapat diamati pada karakter pertumbuhan tanaman meliputi tinggi tanaman dan diameter batang. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa radiasi sinar gamma berpengaruh nyata pada tinggi tanaman namun tidak memberikan pengaruh pada diameter batang (Tabel 2).

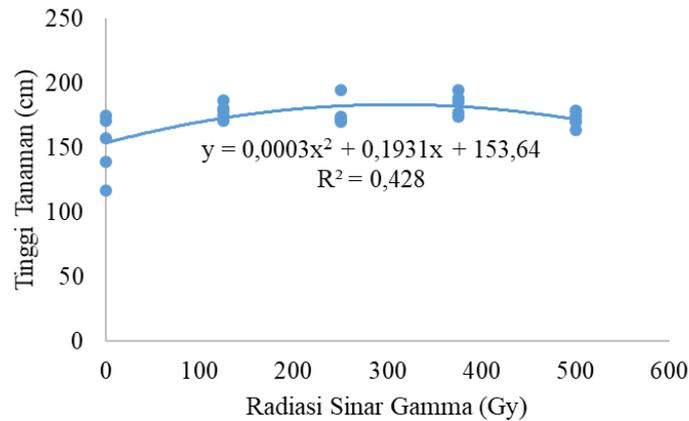
Tabel 2. Pengaruh Radiasi Sinar Gamma terhadap Pertumbuhan Tomat

Dosis (Gray)	Tinggi Tanaman ----- cm -----	Diameter Batang ----- cm -----
0	151,8 ^b	1,36
125	178,4 ^a	1,35
250	176,8 ^a	1,48
375	183,8 ^a	1,30
500	171,8 ^{ab}	1,35

Keterangan : Nilai yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji lanjut BNJ 5%.

Radiasi sinar gamma tidak memberikan pengaruh nyata pada karakter diameter batang karena diduga karakter ini lebih dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti faktor lingkungan. Berdasarkan Magdalena et al. (2014) pertumbuhan tanaman tomat pada dataran rendah dapat dipengaruhi oleh pengaruh lingkungan seperti jarak tanam, ketersediaan hara, penyinaran matahari, dan teknik budidaya yang dilakukan. Hasil uji lanjut BNJ 5% menunjukkan rata-rata tinggi tanaman tomat hasil radiasi sinar gamma memiliki perbedaan nyata dengan tinggi dari tanaman kontrol. Tinggi tanaman

tomat hasil radiasi sinar gamma tertinggi dimiliki oleh perlakuan 375 Gy yaitu 183,8 cm namun tidak berbeda nyata apabila dibandingkan dengan perlakuan 125 Gy, 250 Gy dan 500 Gy. Rata-rata tinggi tanaman tomat mutan pada seluruh perlakuan berbeda nyata dengan tanaman kontrol yang hanya memiliki rata-rata tinggi sebesar 151,8 cm. Hasil tinggi tanaman pada penelitian ini tidak sesuai dengan penelitian Sutapa dan Kasmawan (2016) yang menyatakan bahwa pemberian radiasi sinar gamma dengan dosis 100 Gy akan memberikan tekanan terhadap pertumbuhan tanaman tomat sehingga pertumbuhan tinggi tanaman menjadi menurun.



Gambar 2. Kurva Regresi Kuadratik Tinggi Tanaman Tomat

Kurva regresi kuadratif hasil uji polinomial orthogonal perlakuan radiasi sinar gamma terhadap tinggi tanaman tomat mutan pada Gambar 2 menunjukkan respon tinggi tanaman terhadap radiasi sinar gamma menghasilkan kurva dengan persamaan $y = -0,0003x^2 + 0,1931x + 153,64$ dan nilai $R^2 = 0,428$ serta dosis 321,83 Gy sebagai titik optimal. Tinggi tanaman mutan tomat generasi M1 mulai menurun setelah titik dosis optimal 321,83 Gy. Dosis tinggi diatas titik optimal memberikan kerusakan pada sel sehingga menyebabkan terjadinya gangguan pada pertumbuhan tinggi tanaman. Pernyataan ini sesuai dengan Gowthamil et al. (2017) yang menyatakan bahwa tinggi tanaman hasil radiasi sinar gamma dapat menurun karena disebabkan oleh terjadinya kerusakan pada proses pembelahan sel yang dapat mengganggu keseimbangan hormon pertumbuhan tanaman.

Produksi Tanaman Tomat

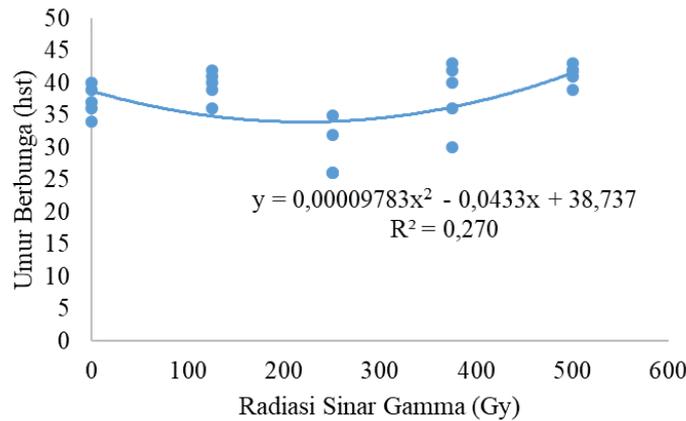
Pengaruh iradiasi sinar gamma juga dapat dilihat pada karakter produksi tanaman meliputi karakter umur berbunga, umur panen, jumlah buah per-tanaman dan bobot buah per-tanaman. Hasil analisis ragam menunjukkan radiasi sinar gamma berpengaruh nyata pada karakter umur berbunga, umur panen, jumlah buah dan bobot buah per-tanaman (Tabel 3).

Radiasi sinar gamma memberikan pengaruh nyata pada umur berbunga dan umur panen tanaman tomat. Radiasi sinar gamma dengan dosis 250 Gy rata-rata umur berbunga paling cepat dan berbeda nyata daripada perlakuan lainnya berdasarkan hasil uji lanjut BNJ 5%. Tanaman tomat yang berbunga lebih cepat akan memiliki waktu panen yang lebih cepat juga. Hasil umur panen juga menunjukkan bahwa dosis 250 Gy menghasilkan umur panen yang lebih cepat, tetapi tidak berbeda nyata dengan dosis 375 Gy dan kontrol berdasarkan hasil uji BNJ 5%. Umur berbunga dan umur panen yang lebih cepat merupakan salah satu respon positif yang dihasilkan oleh pemberian mutasi sinar gamma. Tanaman tomat mawar yang memiliki umur lebih genjah akan diminati oleh petani karena akan dapat dipanen lebih cepat. Berdasarkan Romadhon et al. (2018) tanaman tomat yang berumur genjah sangat diminati oleh petani karena akan menghasilkan waktu panen yang lebih cepat dengan jangka waktu yang lebih lama.

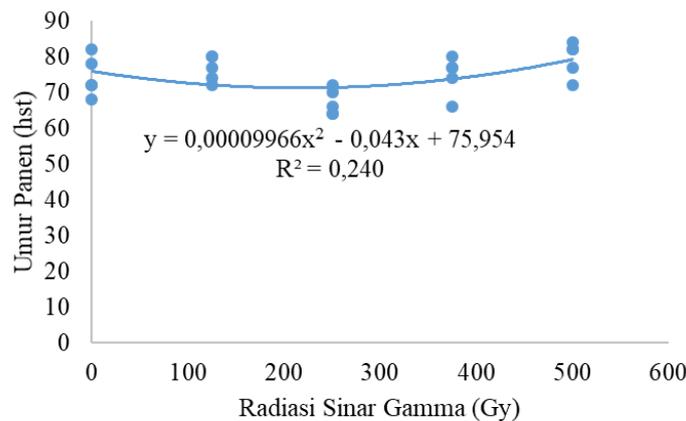
Tabel 3. Pengaruh Radiasi Sinar Gamma terhadap Produksi Tomat

Dosis (Gray)	Umur Berbunga	Umur Panen	Jumlah Buah Per-Tanaman	Bobot Per-Tanaman
	--- hst ---	--- hst ---	--- buah ---	--- gram ---
0	37,2 ^a	74,4 ^{ab}	6,8 ^b	188,80 ^b
125	39,6 ^a	76,6 ^a	8,6 ^b	248,87 ^b
250	29 ^b	67,2 ^b	19,6 ^a	492,77 ^a
375	38,2 ^a	74,8 ^{ab}	11,8 ^b	350,88 ^{ab}
500	41,4 ^a	79,4 ^a	7,6 ^b	188,63 ^b

Keterangan : Nilai yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji lanjut BNJ 5%.



Gambar 3. Kurva Regresi Kuadratik Umur Berbunga Tomat

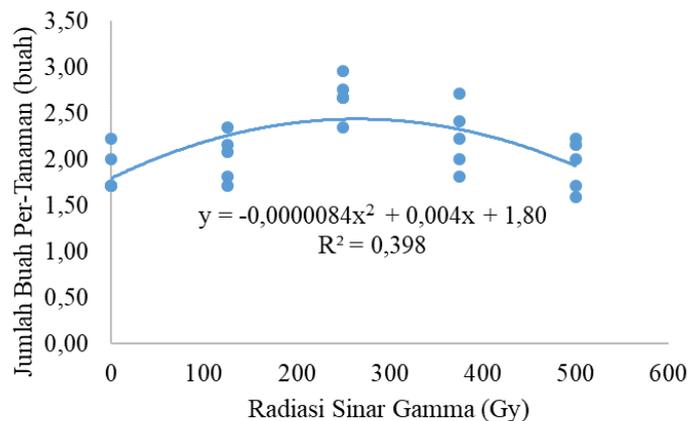


Gambar 4. Kurva Regresi Kuadratik Umur Panen Tomat

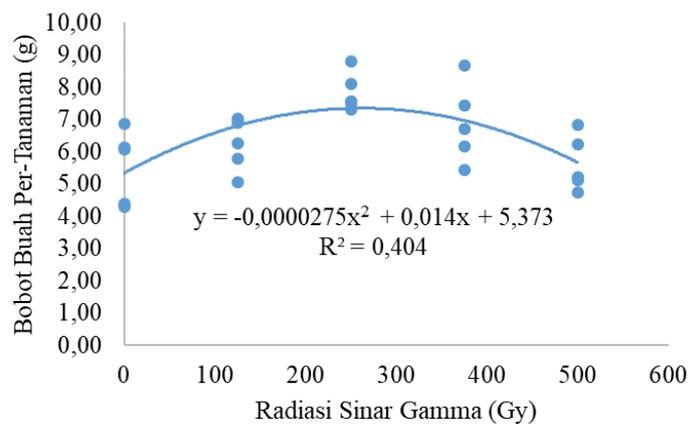
Kurva regresi kuadratik hasil uji polinomial orthogonal perlakuan radiasi sinar gamma terhadap umur berbunga dan umur panen menunjukkan hasil kurva dengan $y = 0,00009783x^2 - 0,0433x + 38,737$ dan $R^2 = 0,270$ serta dosis 221,30 Gy sebagai titik optimal pada umur berbunga (Gambar 3) dan kurva dengan persamaan $y = 0,00009966x^2 - 0,043x + 75,954$ dan $R^2 = 0,240$ serta dosis 215,73 Gy sebagai titik optimal pada umur panen (Gambar 4). Pemberian radiasi sinar gamma dapat menghasilkan tanaman yang memiliki umur yang lebih genjah hingga batas maksimal dosis 221,30 Gy untuk umur berbunga dan 215,73 Gy untuk umur panen. Pemberian radiasi sinar gamma diatas kedua dosis tersebut akan memberikan respon negatif yaitu umur berbunga dan umur panen yang lebih lambat karena radiasi sinar gamma dengan dosis yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terhambatnya pembungaan dan pembentukan buah akibat rusaknya susunan kromosom yang mengakibatkan umur berbunga dan umur panen yang lebih lama. Menurut Daeli et al. (2013) pemberian radiasi sinar gamma mengakibatkan perubahan susunan kromosom yang menyebabkan

gangguan pada proses fotosintesis tanaman sehingga suplai unsur yang dibutuhkan untuk berbunga dan berbuah akan terhambat dan mengakibatkan tanaman memiliki umur yang lebih lama.

Radiasi sinar gamma juga memberikan pengaruh nyata pada karakter jumlah buah per-tanaman dan bobot buah per-tanaman (Tabel 3). Jumlah buah per-tanaman tertinggi dihasilkan oleh perlakuan radiasi sinar gamma dengan dosis 250 Gy yang berbeda nyata dengan perlakuan dosis lainnya berdasarkan hasil uji BNJ 5%. Bobot buah per-tanaman tertinggi dimiliki oleh perlakuan dosis 250 Gy, namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan tertinggi kedua yaitu perlakuan dosis 375 Gy. Respon positif yang dihasilkan pada kedua karakter produksi yaitu jumlah buah per-tanaman dan bobot buah per-tanaman hasil radiasi sinar gamma diduga terjadi karena kerusakan sel yang diakibatkan oleh mutasi menghasilkan efek yang positif pada tanaman. Berdasarkan Sutapa dan Kasmawan (2016) pemberian radiasi sinar gamma dapat memberikan efek negatif maupun positif pada pertumbuhan tanaman tomat karena perlakuan radiasi bersifat merusak secara acak.



Gambar 5. Kurva Regresi Kuadratik Jumlah Buah Per-Tanaman Tomat



Gambar 6. Kurva Regresi Kuadratik Bobot Buah Per-Tanaman Tomat

Berdasarkan kurva regresi kuadratik hasil uji polinomial orthogonal perlakuan radiasi sinar gamma terhadap dua karakter produksi yaitu jumlah buah per-tanaman dan bobot buah per-tanaman menunjukkan hasil kurva dengan persamaan $y = -0,0000084x^2 + 0,004x + 1,80$ dan $R^2 = 0,398$ serta dosis 238,11 Gy sebagai titik optimal pada hasil jumlah buah per-tanaman (Gambar 5) dan kurva dengan persamaan $y = -0,0000275x^2 + 0,014x + 5,373$ dan nilai $R^2 = 0,404$ serta dosis 254,55 Gy sebagai titik optimal pada hasil bobot buah per-tanaman (Gambar 6). Pemberian radiasi sinar gamma pada penelitian ini dapat meningkatkan jumlah dan bobot buah per-tanaman hingga batas maksimal dosis optimal yaitu 238,11 Gy untuk jumlah buah per-tanaman dan 254,55 Gy untuk bobot buah per-tanaman. Radiasi sinar gamma lebih tinggi dari dosis tersebut dapat mengakibatkan penurunan hasil

produksi buah yang lebih sedikit. Penurunan bobot buah pada dosis radiasi yang tinggi disebabkan karena radiasi sinar gamma diatas dosis optimal dapat menyebabkan gangguan metabolisme tanaman yang dapat menghambat proses terbentuknya buah. Berdasarkan Anshori et al. (2014) radiasi sinar gamma pada dosis tinggi menyebabkan perubahan genetik dan DNA pada tanaman yang menyebabkan terhambatnya metabolisme tanaman dalam proses pertumbuhan organ.

KESIMPULAN

Nilai LD50 tanaman tomat mawar adalah 460,23 Gy. Radiasi sinar gamma memberikan pengaruh nyata pada karakter tinggi tanaman, umur berbunga, umur panen, jumlah buah per-tanaman dan bobot buah per-tanaman. Radiasi sinar gamma dapat memberikan pengaruh positif pada pertumbuhan dan produksi tanaman tomat hingga dosis tertentu. Dosis yang terlalu tinggi dapat menyebabkan perubahan kearah negatif karena semakin tinggi dosis yang diberikan maka semakin menurun pula karakter yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisha, A. H., M. Y. Rafii, K. A. Rahim, A. S. Juraimi, A. Misran, dan Y. Oladosu. 2018. Radio-sensitivity test of acute gamma irradiation of two variety of chili pepper chili Bangi 3 and chili Bangi 5. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 7 (11) : 90 – 95.
- Anshori, S. R., S. I. Aisyah, dan L. K. Darusman. 2014. Induksi mutasi fisik dengan iradiasi sinar gamma pada kunyit (*Curcuma domestica* Val.). *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 5 (6) : 84 – 94.
- Aribawa, I. B. dan I. K. Kariada. 2016. keragaan pertumbuhan dan hasil beberapa galur tomat (*Lycopersicon esculentum* L.) introduksi di dataran rendah di musim kemarau. *Prosiding dari Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian, Balai Pengkajian dan Teknologi Pertanian di Bali tanggal 26 Juli 2016*.
- Badan Pusat Statistik Republik Indonesia. 2020. *Statistik Hortikultura*, Jakarta: BPS RI.
- Daeli, N. D. S., L. A. P. Putri. Dan I. Nuriadi. 2013. Pengaruh radiasi sinar gamma terhadap tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) pada kondisi salin. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 1 (2) : 227 – 236.
- Elvira, S. D., M. Yusuf, dan D. Yarnika. 2014. Karakter agronomi beberapa varietas tomat (*Solanum lycopersicum* L.) akibat pemberian ekstrak lamtoro. *J. Agrium*, 11 (2) : 125 – 128.
- Gamage, G. G. S. U., A. C. Udage, L. M. H. R. Alwis, W. M. W. S. Marapana, dan O. W. S. H. Ariyathilake. 2018. Gamma radiation sensitivity and effective dosage for seeds of tomato variety katugastota wilt resistant. *Tropical Agriculturist*, 166 (2) : 125 – 136.
- Gowthamil, R., C. Vanniarajan, J. Souframanien, dan M. A. Pillai. 2017. Comparison of radiosensitivity of two rice (*Oryza sativa* L.) varieties to gamma rays and electron beam in M1 generation. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 8 (3) : 632 – 741.
- Magdalena, L., Adiwirman, dan E. Zuhry. 2014. Uji pertumbuhan dan hasil beberapa genotipe tanaman tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill) di dataran rendah. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian Universitas Riau*, 1 (2) : 1 – 10.
- Norfadzrin, F., O. H. Ahmed, S. Shaharudin, dan D. Abdul Rahman. 2007. A preliminary study on gamma radiosensitivity of tomato. *International Journal of Agricultural Research*, 2 (7) : 620 – 625.
- Oliveira, N. M., A. D. de Medeiros., M. L. Nogueira, V. Arthur, T. A. Mastrangelo, dan C. B. da Silva. 2021. Hormetic effects of low dose gamma rays in soybean seeds and seedling detetention technique using optical sensors. *Computers and Electronics Agriculture*, 187 : 1 – 9.

- Rohmah, S. 2019. Pengaruh induksi mutasi radiasi sinar gamma cobalt-60 terhadap keragaman fenotip tanaman lidah mertua (*Sansievera trifasciata* Prain.). Skripsi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Malang.
- Romadhon, M. R., S. H. Sutjahjo, dan S. Marwiyah. 2018. Evaluasi Genotipe Tomat Hasil Iradiasi Sinar Gamma di Dataran Rendah. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 46 (2) : 189 – 196.
- Sutapa, G. N. dan I. G. A. Kasmawan. 2016. Efek induksi mutasi radiasi gamma ⁶⁰Co pada pertumbuhan fisiologis tanaman tomat (*Lycopersicon esculentum* L.). *Jurnal Keselamatan Radiasi dan Lingkungan*, 1 (2): 5 – 11.
- Suwarno, A., N. A. Habibah, dan L. Herlina. 2013. Respon pertumbuhan planlet anggrek *Phalaenopsis amabilis* L. var. jawa candiochid akibat radiasi Sinar gamma. *Unnes Journal of Life Science*. 2 (2): 78 – 84.
- Zafar, S. A., M. Aslam, M. Albaqami, A. Ashraf, A. Hassan, J. Iqbal, A. Maqbool. M. Naeem, R. Al-Yahyai, dan A. T. K. Zuan. 2022. Gamma rays induced genetic variability in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) germplasm. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29 (1) : 3300 – 3307.