

Efek Induksi Mutasi Radiasi Gamma Terhadap Pertumbuhan Fisiologis Tanaman Kedelai (*Glycine Max* (L) Merrill)

Ateng Supriyatna¹, Aida Syakira Khoerunnisa², Alik Maulidina³, Ilvi Maulidina⁴,
Indrianita D M Nur Azizah⁵

Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati^{1,2,3,4,5}

Jl. A. H. Nasution No. 105, Cipadung, Cibiru, Bandung, Jawa Barat^{1,2,3,4,5}

e-mail: atengsupriyatna@uinsgd.ac.id, aidasyakirakh@gmail.com,

alika Maulidina03@gmail.com, ilvimaulidina18@gmail.com, indrianita94@gmail.com

Abstrak. *Literature studies can examine the effect of gamma radiation on physiological aspects of soybean plants. Gamma radiation is known to impact genetic diversity, growth, morphology, seed size, weight and protein content of soybean plants. The aim of this literature study is to examine the effects of providing gamma rays on the physiology of soybean plants (Glycine max (L) Merrill). The method used is literature or literature study where the author uses several pieces of literature as references in the journal he created. Some studies show that gamma radiation can cause a decrease in the ability of soybean plants to survive and can cause slower growth. However, other research also shows that gamma radiation can be used to induce genetic mutations that have an impact on the physiology of soybean plants. The discussion topics taken range from the process of gamma radiation inducing genetic mutations in soybean plants, analysis of mutations that occur in soybean growth, the effect of gamma ray radiation on plant growth, and the effect of gamma radiation mutations on physiological parameters: photosynthesis of soybean plants.*

Keywords: *Gamma radiation, soybeans, mutation, plant growth and development*

Abstrak. Studi literatur dapat mengkaji pengaruh radiasi gamma terhadap aspek fisiologis tanaman kedelai. Radiasi gamma diketahui berdampak pada keragaman genetik, pertumbuhan, morfologi, ukuran benih, berat, dan kandungan protein tanaman kedelai. Tujuan dari studi literatur ini untuk mengkaji efek dari pemberian sinar gamma terhadap fisiologis dari tanaman kedelai (*Glycine max* (L) Merrill). Metode yang digunakan kepastakaan atau studi literatur dimana penulis menjadikan beberapa literatur sebagai rujukan dalam jurnal yang dibuat. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa radiasi gamma dapat menyebabkan penurunan kemampuan tanaman kedelai untuk bertahan hidup dan dapat menyebabkan pertumbuhan lebih lambat. Namun, penelitian lain juga menunjukkan bahwa radiasi gamma dapat dimanfaatkan untuk menginduksi mutasi genetik yang berdampak terhadap fisiologis tanaman kedelai. Topik pembahasan yang diambil mulai dari proses radiasi gamma menginduksi mutasi genetik pada tanaman kedelai, analisis mutasi yang terjadi pada pertumbuhan kedelai, pengaruh radiasi sinar gamma terhadap pertumbuhan tanaman, serta efek mutasi radiasi gamma terhadap parameter fisiologis: fotosintesis tanaman kedelai.

Kata Kunci : Radiasi gamma, kedelai, mutasi, pertumbuhan, dan perkembangan tanaman

PENDAHULUAN

Indonesia menjadi salah satu negara pengimpor kedelai terbesar di dunia. Kebutuhan akan kedelai ini masih belum dapat dipenuhi sepenuhnya melalui produksi dalam negeri. Belakangan ini, terlihat adanya penurunan produksi kedelai pada tahun 2009 sebesar 972,95 ribu ton biji kering. Produksi kedelai di dalam negeri hanya mampu memenuhi sekitar 20-30% dari kebutuhan nasional, sementara kekurangannya, sekitar 70-80%, harus diatasi dengan mengimpor kedelai. Situasi ini menjadi peluang sekaligus tantangan bagi para petani untuk meningkatkan produksi kedelai di dalam negeri (Hanafiah dkk., 2011).

Kedelai (*Glycine max* L.) merupakan jenis kacang-kacangan yang memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan protein masyarakat. Salah satu jenis palawija ini memiliki kandungan protein nabati tinggi, mencapai 40% (Isnaini dkk., 2020). Kedelai juga mengandung berbagai nutrisi seperti karbohidrat, kalsium, vitamin B12, dan lain sebagainya. Masyarakat Indonesia dapat memanfaatkan kedelai sebagai bahan dasar dalam berbagai olahan makanan, seperti tempe, tahu, susu, dan berbagai jenis bahan makanan lainnya, karena kedelai memiliki kandungan nutrisi yang melimpah (Arifin, 2021).

Tanaman kedelai termasuk jenis tanaman yang melakukan penyerbukan sendiri, dimana tanaman ini cenderung membentuk galur-galur yang stabil atau tidak mengalami segregasi. Populasi tanaman kedelai terdiri dari berbagai galur, dan dalam setiap galur, variasi genetiknya sangat minim atau bahkan hampir tidak ada. Namun, terdapat keragaman genetik yang signifikan antara galur-galur tersebut. Keragaman genetik baru pada tanaman kedelai dapat muncul dalam kondisi alam akibat mutasi atau melalui persilangan antar galur, meskipun tingkat keragamannya relatif rendah (Hanafiah dkk., 2010).

Pertumbuhan fisiologis tanaman kedelai mampu ditingkatkan dengan menginduksi mutasi menggunakan radiasi gamma. Mutasi yang diinduksi bisa mengubah struktur gen secara acak dan tiba-tiba. Kadar radiasi yang digunakan dalam menginduksi keanekaragaman akan menentukan keefektifan menghasilkan suatu tanaman mutan (Wulandari, 2022). Dampak radiasi yang dihasilkan dari mutasi yang diinduksi bervariasi pada bermacam tingkatan makhluk hidup, tidak hanya secara kuantitatif tetapi juga secara kualitatif (Ivanishvili dkk., 2016). Pada penelitian yang dilakukan oleh Monikasari (2018), menyatakan bahwa induksi mutasi menggunakan iradiasi gamma diberitahukan mampu meningkatkan keanekaragaman morfologi bunga matahari. Selain itu terdapat beberapa tanaman yang pertumbuhannya dipengaruhi oleh induksi mutasi seperti tanaman rosella merah (Gustia dan Wulandari, 2021) dan tanaman jengger (Muhallilin dkk., 2019).

Perlakuan dengan kadar dosis radiasi yang akurat untuk memanfaatkan energi radiasi gamma terhadap tanaman akan memberikan karakteristik seperti perbaikan performa tanaman, produktivitas tinggi, dan ketahanan terhadap serangan penyakit (Sibarani dan Hanafia, 2015). Terapi radiasi akan memperoleh spesies kedelai yang lebih baik dengan ukuran yang relatif lebih besar, sehingga meningkatkan jumlah kedelai, meningkatkan jumlah batang dan mencapai ketahanan terhadap serangan penyakit dan sejumlah hama, maka akan memungkinkan peningkatan volume produksi tanaman (Isnaini dkk., 2020).

Iradiasi gamma dosis rendah dapat meningkatkan perkecambahan benih dan perkembangan bibit spesies tanaman (Akshatha dan Chandrashekar, 2014) dengan

meningkatkan aktivitas atau reaksi enzim, meningkatkan produksi struktur tanaman, dan memperkuat sel-sel pernapasan atau respirasi. Pada iradiasi gamma dosis tinggi akan menghambat sintesis protein, pertukaran gas, keseimbangan hormonal, perpindahan air, serta aktivitas enzimatik sehingga mengakibatkan terganggunya fisiologi dan morfologi tanaman yang mampu menghalangi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Akibat dari radiasi sinar gamma adalah pada bentuk daun, awal mula berbentuk bulat telur kemudian berubah memanjang dan tebal, ada yang berdaun tunggal, berdaun dua, berdaun empat, dan daun tetap hijau serta sulit rontok meskipun polong sudah terbuka dan matang untuk dipanen (Nuraeni, 2023).

METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan pada riset ini adalah metode kepustakaan atau studi literatur dimana penulis menjadikan beberapa literatur sebagai rujukan dalam jurnal yang dibuat. Metode yang digunakan yaitu kualitatif, yang merupakan pendekatan sebagai Upaya dalam analisis data untuk menggambarkan dan menjelaskan berbagai data dari strategi pemasaran global, tanpa bermaksud menghasilkan keputusan global atau generalisasi (Utami, 2020). Oleh karena itu, metode analisis deskriptif digunakan sebagai cara untuk menentukan rumusan masalah dan menginterpretasikan analisis data. Selain itu, dapat menghasilkan informasi komprehensif tentang pelaku usaha dan sektor bisnis keseluruhan.

PEMBAHASAN

Radiasi gamma merupakan mutagen ampuh yang dapat mengubah sifat genetik tanaman secara spontan sehingga dapat mengakibatkan mutasi genetik. Keanekaragaman genetik tanaman kedelai hasil iradiasi pada generasi M1 dapat meningkat, dan mutasi merupakan salah satu cara untuk meningkatkan keanekaragaman genetik tanaman. Pada penelitian yang dilakukan oleh Harsanti dan Yulidar (2016) mengemukakan bahwasannya kecepatan mutasi pada suatu tanaman dapat dipengaruhi oleh dosis yang diberikan pada suatu perlakuan, dimana semakin tinggi tingkat dosis yang diberikan maka mutagen akan sering bermutasi dan ketika mutasi terjadi terlalu banyak akan merusak kromosom-kromosom yang dapat menyebabkan kerusakan genetis pada suatu tanaman sehingga selanjutnya akan terjadi kerusakan fisiologis yang dapat menyebabkan sel yang bermutasi akan mati.

Dampak dari awal mutasi dapat terjadi pada perubahan biji saat berkecambah, dimana radiasi menyebabkan kerusakan pada tingkat kromosom dan DNA benih yang akan mempengaruhi fisiologis dan biokimia pada tanaman. Semakin tinggi dosis iradiasi yang

diberikan maka benih akan mengalami peningkatan kadar protein dan penurunan kadar karbohidrat total serta energi total. Hal tersebut berdampak pada keadaan kecambah menjadi abnormal sehingga proses perkecambahan selanjutnya akan terhambat (Firsta dan Saputro, 2019).

Proses terjadinya perubahan materi genetik pada tanaman kedelai dimulai sejak aktivasi RNA untuk sintesis protein. Dari radiasi tersebut dapat memberikan efek pada sensitivitas tanaman dan dapat mengakibatkan jumlah zat pengatur tumbuh endogen pada sitokinin dengan cara mendegradasi atau menurunkan tingkat sintesisnya. Hal tersebut terjadi ketika sinar gamma dapat mendegradasi sel dan sintesis sitokinin (Nurrachmamila dkk., 2017). Sintesis sitokinin membutuhkan fungsi optimal dari organel sel mitokondria untuk menghasilkan ATP serta menyediakan kalsium sehingga m-RNA dapat berperan sebagai template sintesisnya. Hal tersebut dapat terjadi karena membran sel dan membran nukleus sensitif terhadap paparan radiasi, namun sitokinin yang telah diakumulasi dalam granula tidak akan mengalami degradasi karena granula memiliki struktur sel yang resisten terhadap iradiasi (Shukla dkk., 2016).

Beberapa jenis analisis mutasi sinar gamma terhadap pertumbuhan kedelai diantaranya analisis genetik, studi ekspresi gen, pertumbuhan morfologi dan fisiologi, produktivitas panen serta respon lingkungan. Analisis mutasi genetik radiasi gamma membutuhkan pemeriksaan pada tingkat genetik. Teknik seperti PCR atau *Polymerase Chain Reaction* dan sekuensing DNA digunakan untuk meneliti modifikasi dalam urutan nukleotida seperti penggantian, penghapusan, penambahan, atau perubahan struktural lainnya dalam DNA tanaman kedelai. Radiasi gamma juga tentunya dapat mempengaruhi pengaturan gen terhadap sifat gen yang dominan atau resesif dalam mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan kedelai (Herbibawa, 2019).

Analisis genetik berhubungan dengan studi ekspresi gen, hal ini dilihat dari pengaruhnya ekspresi gen terhadap teknologi mutasi. Contohnya pada RNA-seq dalam menganalisis genom profil ekspresi gen tumbuhan kedelai, substitusi nukleotida, penghapusan atau penambahan sekuens dan sebagainya. Setelah proses mutasi diketahui, selanjutnya dilakukan analisis pertumbuhan morfologi dan fisiologi terhadap tumbuhan kedelai. Paparan radiasi gamma bisa menghasilkan perubahan pada ciri-ciri fisik tanaman kedelai, termasuk tinggi tanaman, bentuk daun, jumlah cabang, serta struktur bunga. Perubahan-perubahan genetik ini mampu menciptakan variasi dalam penampilan tanaman kedelai. Mutasi ini juga dapat mempengaruhi berbagai tahapan perkembangan tanaman kedelai, seperti fase perkecambahan, fase pertumbuhan vegetatif, pembungaan, dan pembuahan. Radiasi gamma mungkin mengubah rentang waktu maupun intensitas dari tahapan-tahapan pertumbuhan tersebut (Anindia, 2023).

Jenis analisis mutasi lainnya yaitu produktivitas panen dan respon lingkungan. Produktivitas panen kedelai berhubungan erat dengan kualitas nutrisi termasuk lemak, protein, karbohidrat atau senyawa lainnya. Mutasi sinar gamma dapat mempengaruhi respon kedelai dengan meningkatkan atau mengurangi nilai nutrisi dari tanaman kedelai. Hasil panen ini akan mempengaruhi nilai agronomis tanaman kedelai. Selain itu, respon lingkungan pada pertumbuhan kedelai dapat dilihat dari tingkat resistensi lingkungan seperti toleransi terhadap suhu ekstrim, kekeringan, atau serangan hama dan penyakit (Purwito, 2017).

Berdasarkan karakteristik jenis mutasi pertumbuhan kedelai dapat dilihat dari tinggi pertumbuhan kedelai, warna bunga dan jumlah cabang, umur dan jumlah biji serta berat atau bobot biji pertanaman (Nuraeni, 2023). Sebagai contoh terhadap analisis bentuk dan warna kedelai, paparan sinar gamma dapat menghasilkan modifikasi dalam bentuk daun dari yang semula bulat telur menjadi lebih panjang dan tebal. Seperti variasi bentuk daun antara yang berbentuk unifoliat, bifoliat, dan tetrafoliat. Selain itu, perubahan warna terjadi pada bunga yang awalnya ungu menjadi putih, serta adanya bunga dengan dua warna yang berbeda, yaitu ungu dan putih, dalam satu bunga (Hanafiah, 2015).

Diperkirakan bahwa paparan sinar Gamma pada benih memiliki potensi untuk meningkatkan persentase perkecambahan, kecepatan perkecambahan, pertumbuhan radikula, pertumbuhan plumula, dan tinggi tanaman pada fase perkecambahan benih, asalkan dosis yang diberikan sesuai. Energi yang dipancarkan oleh sinar gamma memiliki kemampuan untuk menembus lapisan luar biji kedelai, yang dapat menyebabkan reaksi langsung dan tidak langsung yang berpengaruh pada perubahan DNA biji kedelai yang terkena paparan sinar gamma (Nuraeni., 2023). Apabila dosis yang diberikan kurang dari atau bahkan dari dosis semestinya yang mana menurut beberapa literatur dosis yang sesuai untuk penyinaran sinar gamma yaitu 50-100 Gy, maka tanaman kedelai tidak mencapai kinerja optimal karena paparan radiasi yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan dan efek negatif pada tanaman. Dosis radiasi yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan kerusakan permanen pada DNA dan protein, menghambat aktivitas enzim, serta mengganggu proses fisiologis tanaman (Sirajudin, 2010).

Pengaruh radiasi sinar gamma terhadap tinggi tanaman menunjukkan bahwa semakin besar dosis radiasi yang diberikan, tinggi tanaman mengalami penurunan. Temuan ini konsisten dengan pernyataan yang diungkapkan oleh (Sajimin., 2015), (Harsanti & Yulidar, 2015), dan (Daeli., 2013), yang menyatakan bahwa peningkatan dosis radiasi berkorelasi dengan penurunan tinggi tanaman. Penurunan tersebut terjadi karena radiasi dapat merusak kromosom tanaman, mengakibatkan gangguan pada pertumbuhan tanaman. Selain itu, radiasi sinar

Gamma dapat menghambat proses metabolisme yang turut menyebabkan penurunan tinggi tanaman (Marwoto, 2017).

Penggunaan iradiasi sinar gamma dapat meningkatkan produktivitas dibandingkan dengan kelompok kontrol. Temuan ini sejalan dengan pandangan Hanafiah dan rekan-rekannya (2010), yang mencatat peningkatan produksi jumlah polong sekitar 15-23% dibandingkan dengan kelompok kontrol sebagai akibat dari iradiasi sinar gamma. Namun, penting dicatat bahwa semakin tinggi dosis iradiasi yang diberikan, produksi tanaman akan mengalami penurunan. Pengaruh radiasi sinar gamma terhadap jumlah biji pertanaman menunjukkan hasil yang positif dikarenakan mengalami peningkatan produksi dibandingkan tanaman kedelai yang tidak diberi radiasi gamma. Penggunaan energi, seperti sinar gamma, pada tanaman dapat memberikan dampak positif dalam bidang pertanian. Dengan memberikan perlakuan dosis radiasi sinar gamma yang sesuai, tanaman dapat menghasilkan karakteristik yang positif seperti hasil yang tinggi, umur pendek, dan ketahanan terhadap penyakit (Hanafiah, 2015).

Induksi mutasi oleh radiasi gamma dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman, termasuk fotosintesis. Menurut Murniati dkk. (2013) tinggi tanaman mampu berpengaruh terhadap kinerja fotosintesis. Tinggi tanaman merupakan gabungan antara panjang dan tingginya cabang yang selanjutnya akan menjadi tajuk tanaman, serta jumlah daun yang ada. Semakin panjang cabangnya, maka semakin tinggi atau lebar tanaman di kanopi, akibatnya akan menyerap lebih banyak cahaya matahari dan mengoptimalkan fotosintesis. Tanaman tinggi mendapat pasokan sinar matahari yang optimal dibandingkan tanaman kecil, maka proses fotosintesis lebih optimal dan hasil panen lebih tinggi (Sa'diyah, 2020).

Mutasi terhadap parameter fisiologis seperti fotosintesis tanaman kedelai dapat diteliti dengan membandingkan fenotip yang berbeda. Berdasarkan hasil studi literatur Bestari (2018), pada penelitian yang dilakukan terhadap tanaman kedelai varietas Grobogan menunjukkan bahwa fenotipe yang berbeda mampu mempunyai perbedaan dalam jumlah pigmen atau zat warna fotosintetik, kemampuan transpor elektrom, dan jumlah karotenoid yang terjadi antara fotosistem selama proses fotosintesis. Intensitas cahaya yang rendah juga menghasilkan respons dengan mengurangi jumlah daun pada kedelai yang ternaungi. Rendahnya jumlah daun yang terdapat pada tanaman ternaungi diakibatkan oleh tanaman dengan perolehan cahaya matahari yang kurang. Oleh karena itu, mengganggu proses fotosintesis dan pembentukan jaringan tumbuhan (Haryoto dkk., 2014).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi literatur dapat ditarik kesimpulan pemberian sinar gamma terhadap kacang kedelai dapat mempengaruhi fisiologis dari tanaman tersebut. Dampak tersebut dapat mempengaruhi tinggi tanaman, jumlah cabang, umur berbunga, umur polong matang, jumlah polong, jumlah biji, dan bobot biji tanaman. Sebaiknya dosis iradiasi yang diberikan untuk tanaman kedelai tidak terlalu tinggi karena dapat mengakibatkan pertumbuhan yang abnormal pada tanaman dan produktivitasnya cenderung menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Anindia, A. (2023). Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine Max L.*) Hasil Radiasi Sinar Gamma Cesium-137. *Agroteknologi JoP*, Vol 8. No 3.
- Akshatha, & Chandrashekar, K. R. (2014). Gamma sensitivity of forest plants of Western Ghats. *Journal of Environmental Radioactivity*, 132, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.02.006>
- Arifin, S. H. A. (2021). Morfologi dan Siklus Hidup Spodoptera frugiperda J.E Smith (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) dengan Pakan Daun Kedelai (*Glycine Max L*) Di Laboratorium [Other, UNIVERSITAS HASANUDDIN]. <http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/9575/>
- Bestari, A. V., & Darmanti, S. (2018). Respon Fisiologis Kedelai [*Glycine max (L.) Merr.*] Varietas Grobogan terhadap Tingkat Naungan yang Berbeda. *Biospecies*, 11(2) : 53 - 62.
- Daeli, N. D. S., Agustina, L. A. P. P. L., Putri, P. P. L. A. P., & Nuriadi, I. N. I. (2013). Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Terhadap Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata L.*) Pada Kondisi Salin. *Agroekoteknologi*, 1(2).
- Firsta, E. R., & Saputro, T. B. (2019). Respon morfologi kedelai (*Glycine max L.*) Varietas anjasmoro hasil iradiasi sinar gamma pada cekaman genangan. *Jurnal sains dan seni ITS*, 7(2), 80-87.
- Gustia, H., Y.A. Wulandari. 2021. Radiosensitivitas dan Pengaruh Dosis Radiasi Gamma terhadap Pertumbuhan Rosella Merah (*Hibiscus sabdariffa*). *Jurnal Aplikasi Isotop dan Radiasi* 7 (2) ; 61-67.
- Hanafiah, D. S., Trikoesoemaningtyas, T., Yahya, S., & Wurnas, D. (2010). Studi radiosensitivitas kedelai [*Glycine Max (L) Merr*] varietas argomulyo melalui iradiasi sinar gamma. *Bionatura*, 12(2), 218172.
- Hanafiah, I. S. (2015). Respon Morfologi Tanaman Kedelai (*Glycine max (L.) Merrill*) Varietas Anjasmoro Terhadap Beberapa Iradiasi Sinar Gamma. *Agroekoteknologi*.
- HANAFIAH, D. S., TRIKOESOEMANINGTYAS, T., YAHYA, S., & WURNAS, D. (2011). Induced mutations by gamma ray irradiation to Argomulyo soybean (*Glycine max*) variety. *Asian Journal of Tropical Biotechnology*, 8(2).
- Harsanti, L., & Yulidar, Y. (2015). Pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap pertumbuhan awal tanaman kedelai (*Glycine max (L.) Merrill*) varietas denna 1. *Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir*, 9, 59–63.

- Harsanti, L., & Yulidar, Y. (2016). Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Yang Berasal Dari Sumber ^{60}Co Terhadap Pembentukan Tanaman Kedelai Tahan Naungan Pada Generasi M1. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah*, 103-109.
- Haryoto, A. P. P., Wijayanto, N., & Budi, W. S. (2014). Respon fisiologi dan produksi kedelai (*Glycine max* (L .) Merrill) toleran naungan berbasis agroforestri sengon (*Paraserianthes falcata* (L .) Nielsen). *Jurnal Silvikultur Tropika*, 5(2), 84–90.
- Herbibawa, S. (2019). Komponen Produksi Kedelai Generasi M3 Akibat Mutasi Induksi di Tanah Salin . *Prosiding Seminar Lahan Suboptimal Palembang*.
- Indiati, S. W., & Marwoto, M. (2017). Penerapan Pengendalian Hama Terpadu (PHT) pada Tanaman Kedelai. *Buletin Palawija*, 15(2), 87–100.
- Isnaini, I., Rasyad, A., & Fianda, D. O. (2020). Keragaan Kedelai (*Glycine Max* (L) Merril) Generasi M1 Varietas Anjasromo Hasil Radiasi Sinar Gamma. *Jurnal Agroteknologi*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.24014/ja.v11i1.9345>
- Ivanishvili, N.I., M.E. Gogebashvili, N.Z. Gvritishvili. 2016. Gamma radiation efect on the parameters of the population recovery of plants. *Annals of Agrarian Science* 14:319-322.
- Monikasari, I. N. S. 2018. Keragaman M1 tanaman hias bunga matahari (*Helianthus annuus* L.) akibat iradiasi sinar gamma. *Skripsi*. Fakultas Peternakan dan Pertanian. Universitas Diponegoro. Semarang.
- 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* 20(3) ; 862-866.
- Murniati, N. S. Setyono., dan A.A. Sjarif. 2013. Analisis korelasi dan sidik lintas peubah pertumbuhan terhadap produksi cabai merah (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Pertanian*, 3 (2) : 111 - 122.
- Nurrachmamila, P. L., dan Saputo. (2017). Analisis Daya Perkecambahan Padi (*Oryza sativa* L.) Varietas Bahbutong Hasil Iradiasi. *J. Sain dan Seni ITS*, vol. 6, no. 2, pp. 2337–3520.
- Nuraeni, N., Hernawati, H., Rani, S. R. A., & Putri, A. A. (2023). Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine Max* L.) Hasil Radiasi Sinar Gamma Cesium-137. *Journal Online Of Physics*, 8(3), 51-57.
- Purwito, S. (2017). Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma pada Generasi Pertama (M1) untuk Mendapatkan Genotipe Unggul Baru Kedelai Toleran Kekeringan. *Agrotrop* , 7 (1): 11 - 21.
- Sa'diyah, N., Fitri, A., Rugayah, R., & Karyanto, A. (2020). Korelasi Dan Analisis Lintas Antara Percabangan Dengan Produksi Cabai Merah (*Capsicum Annuum*l.) Hasil Iradiasi Sinar Gamma. *Jurnal Agrotek Tropika*, 8(1), 169-176.
- Sajimin, D., Fanindi, A., & Purwantari, N. D. (2015). Pengaruh Radiasi Sinar Gamma terhadap Produksi dan Kualitas Benih Tanaman Pakan Ternak Kembang Telang (*Clitoria ternatea* M2) di Bogor. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan Dan Veteriner*, 635–642.
- Shukla, dkk. (2016). Effect of Gamma Irradiation on Cytokines Released by Plants During Storage. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, vol. 9, pp. 15 – 19.

- Sibarani, I. B., & Hanafiah, D. S. (2015). Respon morfologi tanaman kedelai (Glycine max (L.) Merrill) varietas anjasmoro terhadap beberapa iradiasi sinar gamma. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 3(2), 103933.
- Utami, U. (2020). *Metode Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif*. Malang: ITN.
- Wulandari, Y. A., Helfi, G., Rosdiana, R., & Sudirman, S. (2022). Induksi Mutasi Iradiasi Sinar Gamma pada Tanaman Rosella (Hibiscus sabdariffa L). *Jurnal AGROSAINS dan TEKNOLOGI*, 7(2), 99-108.