

Induksi Mutasi Radiasi Sinar Gamma Kobalt-60 (^{60}Co) terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai Edamame (*Glycine max* (L.) Merr.)

Gamma Radiation Mutation Induction Using Cobalt-60 (^{60}Co)
on the Growth and Yield of Edamame Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.)

*Fatma Ursila Yuatno, Ida Retno Moeldjani, Makhziah

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"
Jawa Timur

KATA KUNCI

Edamame Soybean,
Gamma Ray Radiation,
Lethal Dose

HISTORI ARTIKEL

Diterima : 28-05-2024

Direvisi : 27-01-2025

Diterbitkan: 12-03-2025



*This work is licensed under a
Creative Commons Attribution
4.0 International
License.*

ABSTRAK

Eksport kedelai edamame (*Glycine max* (L.) Merr.) membutuhkan suplai yang berkesinambungan dan berkualitas. Kedelai edamame varietas Lokal Jember dapat ditingkatkan kualitas hasilnya melalui pemuliaan tanaman. Pemuliaan menggunakan metode mutasi berbasis radiasi sinar gamma ^{60}Co menghasilkan sifat-sifat baru dalam waktu lebih singkat dibandingkan metode pemuliaan konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dosis radiasi sinar gamma ^{60}Co terhadap produktivitas tanaman kedelai edamame varietas Lokal Jember. Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari-Agustus 2023 di UPT Balai Pengembangan Benih Padi dan Palawija 2, Kecamatan Singosari, Kabupaten Malang. Penelitian disusun menggunakan rancangan *single plant* dengan 6 dosis perlakuan yaitu 0, 100, 200, 300, 400, dan 500 Gy, dan masing-masing dosis terdiri dari 35 tanaman. Parameter pengamatan meliputi persentase perkecambahan, tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah polong, dan berat 100 biji. Data hasil penelitian dianalisis menggunakan Uji T. Hasil penelitian menunjukkan bahwa LD₂₀ dan LD₅₀ adalah 143,32 Gy dan 551,881 Gy. Dosis 400 Gy berpengaruh nyata terhadap tinggi dan jumlah daun tanaman kedelai edamame.

ABSTRACT

The export of edamame soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.) requires a consistent and high-quality supply. The quality of the Local Jember variety of edamame soybeans can be improved through plant breeding. Breeding using gamma-ray irradiation (^{60}Co) mutation methods can produce new traits in a shorter time compared to conventional breeding methods. This study aims to determine the effect of gamma-ray irradiation (^{60}Co) doses on the productivity of the Local Jember variety of edamame soybeans. The research was conducted from January to August 2023 at UPT Balai Pengembangan Benih Padi dan Palawija 2, Singosari District, Malang Regency. The study was designed using a single plant method with 6 treatment doses: 0, 100, 200, 300, 400, and 500 Gy, with each dose consisting of 35 plants. The observed parameters included germination percentage, plant height, number of leaves, number of pods, and 100-seed weight. The research data were analyzed using a T-test. The results showed that the LD₂₀ and LD₅₀ values were 143.32 Gy and 551.881 Gy, respectively. A dose of 400 Gy had a significant effect on the height and number of leaves of edamame soybean plants.

How to Cite:

Yuatno, F. U., Moeljani, I. R., Makhziah. (2025). Induksi Mutasi Radiasi Sinar Gamma Kobalt-60 (^{60}Co) terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai Edamame (*Glycine max* (L.) Merr.). *Plumula : Berkala Ilmiah Agroteknologi*, 13(1), 21-26. <https://doi.org/10.33005/plumula.v13i1.219>

***Author Correspondent:**

Email: 17025010147@student.upnjatim.ac.id

PENDAHULUAN

Edamame adalah jenis tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.) yang terkenal di Jepang, edamame sering juga disebut sebagai kedelai Jepang. Edamame umumnya dijual dalam bentuk segar dan dikonsumsi sebagai kedelai rebus, disukai oleh masyarakat Jepang, Cina, dan Korea sehingga memiliki potensi nilai ekonomi yang tinggi apabila dipasarkan secara internasional (Asadullah dkk., 2018). Minat pasar edamame yang tinggi dan adanya permintaan suplai edamame yang berkesinambungan berdampak pada harga yang stabil dan relatif tinggi di pasaran. Melalui adanya peluang tersebut, kedelai edamame dapat dijadikan salah satu komoditas pertanian unggulan di Indonesia dalam pasar global (Kurniasanti dkk., 2014)

Menurut data Kementerian Pertanian Republik Indonesia (2023), volume ekspor kedelai segar pada tahun 2018 hingga 2021 pada kisaran antara 2.055 hingga 3.682 Ton meningkat dengan signifikan pada tahun 2022 yaitu sebesar 11.373 Ton. Volume ekspor yang meningkat perlu didukung oleh stabilitas produksi kedelai yang baik salah satunya dengan penggunaan tanaman yang memiliki potensi hasil yang tinggi. Oleh sebab itu, diperlukan upaya penyediaan varietas yang memiliki potensi hasil yang tinggi melalui kegiatan pemuliaan tanaman. Pemuliaan tanaman tidak hanya terbatas pada metode konvensional, tetapi juga dapat dilaksanakan dengan metode-metode alternatif seperti induksi mutasi.

Induksi mutasi merupakan salah satu cara meningkatkan keragaman tanaman. Induksi mutasi dapat dilakukan dengan cara memberikan bahan mutagen terhadap materi reproduktif seperti benih tanaman. Penggunaan mutagen atau bahan penyebab mutasi, susunan genetik tanaman dapat berubah (Badriyah, 2024). Salah satu jenis mutagen yang umum dimanfaatkan adalah sinar gamma yang digunakan melalui teknik iradiasi (Nisak & Saputro, 2017). Sinar gamma yang dipancarkan oleh Kobalt (^{60}Co) dapat diiradiasikan pada benih tanaman dapat menembus pada tingkat sel-sel menyebabkan perubahan susunan genetik pada tanaman sehingga memunculkan sifat-sifat yang baru (Prastiko dkk., 2024). Harsanti & Yulidar (2016) menyatakan bahwa sinar gamma mempunyai daya penetrabilitas yang tinggi, sehingga dapat digunakan dalam bidang pemuliaan untuk memunculkan sifat unggul yang baru dalam menghasilkan suatu varietas. Selain itu, induksi mutasi menggunakan sinar gamma dapat menghasilkan keragaman sifat dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan menggunakan metode pemuliaan secara konvensional (Moeljani dkk., 2022).

Penelitian ini disusun sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas kedelai edamame varietas Lokal Jember dengan metode pemuliaan tanaman mutasi. Hasil yang diharapkan dari pemuliaan mutasi ini adalah menghasilkan karakter agronomi benih yang baik dan stabil dari pemuliaan sebelumnya

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan mulai bulan Januari hingga Agustus 2023 di lahan percobaan UPT Balai Pengembangan Benih Padi dan Palawija 2, Kecamatan Singosari, Kabupaten Malang, dengan ketinggian tempat 478 m dpl dan suhu rata-rata 22°C - 32°C. Alat yang digunakan meliputi mesin *irradiator gammacell* 220, polybag, cangkul, sekop tanah, gembor, penggaris, jangka sorong, kamera, alat tulis, timbangan analitik. Bahan yang digunakan meliputi benih kedelai edamame varietas Lokal Jember hasil radiasi sinar gamma ^{60}Co , tanah, pupuk kandang, pupuk NPK, dan pestisida yang digunakan sesuai kebutuhan.

Penelitian ini menggunakan 1 faktor perlakuan yaitu dosis iradiasi sinar gamma ^{60}Co yang terdiri dari 6 taraf dengan kode T₀ (tanpa radiasi), T₁ (dosis 100 Gy), T₂ (dosis 200 Gy), T₃ (dosis 300 Gy), T₄ (dosis 400 Gy), dan T₅ (dosis 500 Gy). Terdapat 6 petak percobaan dengan menggunakan rancangan percobaan *single plant* dengan setiap taraf perlakuan terdiri dari 35 tanaman. Percobaan dilakukan tanpa adanya ulangan dikarenakan setiap materi yang diiradiasi memiliki potensi genetik yang berbeda.

Pelaksanaan penelitian diawali dengan memilih benih yang belum diradiasi. Benih dipilih berdasarkan kriteria ukuran yang seragam, tidak rusak, tidak keriput, dan dalam kondisi utuh. Benih kedelai edamame selanjutnya di iradiasi dengan sinar gamma ^{60}Co menggunakan mesin *irradiator gammacell* 220 di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional (PAIR BATAN). Benih kedelai edamame diiradiasi dengan dosis 100 Gy, 200 Gy, 300 Gy, 400 Gy, dan 500 Gy. Persemaian benih dilakukan dengan polybag menggunakan media tanam tanah. Pengamatan daya kecambah dan penghitungan LD₂₀ dan LD₅₀ dilakukan pada umur 10-14 hari setelah tanam. Setelah tanaman berumur 20 hari setelah tanam (HST) dilakukan pindah tanam ke polybag yang berukuran lebih besar. Media tanam yang digunakan saat pindah tanam adalah tanah dan pupuk kandang dengan perbandingan 1:1. Bibit ditanam satu lubang tanam berisi satu bibit tanaman kedelai edamame. Pemeliharaan tanaman yang dilakukan meliputi penyiraman yang dilakukan saat pagi atau

Tabel 1. Persentase Perkecambahan Kedelai Edamame Varietas Lokal Jember Hasil Iradiasi Sinar Gamma ⁶⁰Co

Dosis Iradiasi Sinar Gamma	Benih yang Dikecambahkan (butir)	Persentase Perkecambahan (%)
T0 (0 Gy / Kontrol)	35	88
T1 (100 Gy)	35	100
T2 (200 Gy)	35	63
T3 (300 Gy)	35	54
T4 (400 Gy)	35	74
T5 (500 Gy)	35	54

Sumber: Data Diolah, 2024

sore hari, pemupukan menggunakan pupuk NPK pada 14 HST dan 28 HST, penyiangan gulma, dan pengendalian hama dan penyakit tanaman. Panen dilakukan pada tanaman umur 105-115 HST untuk produksi benih.

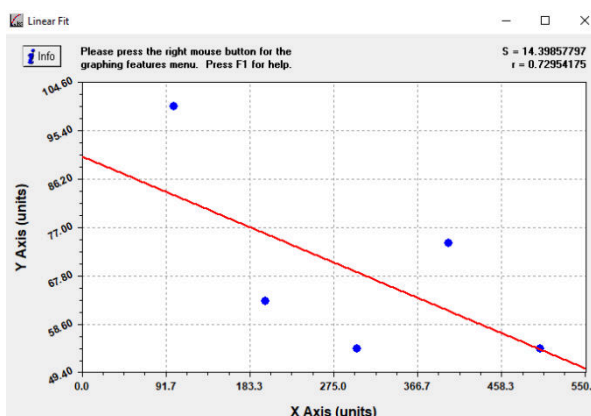
Parameter pengamatan yang diamati pada penelitian ini adalah persentase perkecambahan (%), LD20 dan LD50, tinggi tanaman (cm), Jumlah daun (helai), bentuk daun, jumlah biji per polong (biji), jumlah polong per tanaman (polong), berat 100 biji (g). Analisis data meliputi uji T, perhitungan LD₂₀ dan LD₅₀, dan analisis regresi terhadap data yang dihimpun. Uji T pada taraf 1% dan 5% dianalisis menggunakan Microsoft Excel. Penghitungan LD₂₀ dan LD₅₀, dan analisis regresi dilakukan menggunakan *software CurveExpert 1.3*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persentase perkecambahan dan Nilai Lethal Dose (LD₂₀ dan LD₅₀)

Persentase perkecambahan didapatkan dari banyaknya benih yang berkecambah dari total benih yang ditanam saat penelitian. Persentase perkecambahan kedelai edamame varietas Lokal Jember hasil iradiasi tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan terhadap benih kedelai edamame memiliki persentase perkecambahan yang bervariasi. Secara garis besar semakin tinggi dosis radiasi berdampak kepada semakin kecilnya daya perkecambahan benih. Hasil tersebut sejalan dengan garis tren regresi (garis merah) dalam kurva perkecambahan linier dalam Gambar 1 yang menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis radiasi (dinyatakan dalam sumbu X) maka semakin rendah persentase perkecambahannya (dinyatakan dalam sumbu Y). Menurunnya persentase perkecambahan pada dosis yang lebih tinggi diduga dikarenakan terjadi kerusakan benih akibat tingginya energi yang diterima benih. Hal tersebut juga selaras dengan penelitian (Vazilla dkk., 2023) bahwa semakin tinggi dosis iradiasi maka akan semakin menurunkan persentase perkecambahan. Tingginya energi yang diterima benih menyebabkan kerusakan fisiologis yang lebih besar sehingga menimbulkan kematian tanaman dalam hal ini benih yang tidak dapat tumbuh. Kerusakan fisiologis dapat berkaitan dengan kerusakan sel. Semakin besar jumlah sel yang rusak, maka suatu organ akan kehilangan kemampuannya untuk menjalankan fungsinya (Moeljani dkk., 2022).



Gambar 1. Kurva Respon Perkecambahan Tanaman Kedelai Edamame Varietas Lokal Jember Hasil Iradiasi Sinar Gamma ⁶⁰Co

Tabel 2. Hasil Perhitungan Lethal Dose 20 (LD₂₀) dan 50 (LD₅₀) Berdasarkan Persentase Perkecambahan

Parameter	Dosis (Gy)
Lethal Dose 20 (LD ₂₀)	143,32
Lethal Dose 50 (LD ₅₀)	551,881

Sumber: Data Diolah, 2024

Tanaman kedelai edamame dengan dosis radiasi 100 Gy memiliki tingkat perkecambahan tertinggi yaitu 100% sedangkan perlakuan 300 Gy dan 500 Gy menghasilkan persentase perkecambahan paling rendah yaitu sebesar 54%. Perbedaan persentase perkecambahan diduga berkaitan dengan efek umum radiasi yang ditunjukkan dengan kerusakan fisiologis tanaman. Kerusakan fisiologis benih dari setiap dosis berupa kecambah abnormal dan benih yang gagal berkecambah (Nisak & Saputro, 2017). Supriyatna dkk. (2024) menyatakan bahwa dampak awal mutasi genetik pada benih terjadi saat berkecambah. Bentuk atau kondisi kecambah yang abnormal akibat dosis radiasi yang terlalu tinggi disebabkan oleh kerusakan pada tingkat kromosom dan DNA. Terganggunya ekspresi genetik karena rusaknya DNA menghambat aktivitas metabolisme pada benih (Firsta & Saputro, 2019).

Penggunaan aplikasi *CurveExpert* dilakukan berdasarkan data persentase perkecambahan benih yang dapat memperoleh nilai *lethal dose* 20 (LD₂₀) dan *lethal dose* 50 (LD₅₀). Berdasarkan hasil penghitungan yang diperoleh, nilai LD₂₀ adalah sebesar 143,32 Gy sedangkan nilai LD₅₀ sebesar 551,881 Gy (Tabel 2). Hal tersebut menunjukkan bahwa benih kedelai edamame yang diperlakukan dengan dosis 143,32 Gy sinar gamma ⁶⁰Co, probabilitas benih yang gagal berkecambah sebesar 20% dan pada dosis iradiasi 551,881 Gy akan memiliki probabilitas benih yang gagal berkecambah sebesar 50%. Dengan demikian, penggunaan dosis yang melebihi dari 551,881 Gy akan semakin meningkatkan peluang kegagalan perkecambahan benih hingga lebih dari 50%. Menurut (Astuti dkk., 2019) setiap bahan tanaman maupun jenis tanaman memiliki tingkat radiosensitivitas yang berbeda. Radiosensitivitas merupakan tingkat kepekaan bahan tanaman terhadap paparan radiasi. Radiosensitivitas tersebut dipengaruhi faktor fisik, faktor biologis, dan faktor lingkungan.

Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma ⁶⁰Co Terhadap Tinggi Tanaman, Jumlah Daun, Jumlah Polong, dan Berat 100 Biji

Hasil Uji T menunjukkan perbedaan hasil perlakuan radiasi sinar gamma ⁶⁰Co terhadap tanaman kedelai edamame. Uji T dilakukan dengan membandingkan taraf 1% dan 5% dengan perlakuan kontrol. Variabel pengamatan diamati dari 7 HST sampai dengan 84 HST atau sampai tanaman tidak menunjukkan pertumbuhan. Nilai rata-rata variabel pengamatan tanaman kedelai edamame Varietas Lokal Jember hasil iradiasi sinar gamma ⁶⁰Co terdapat pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3. pertumbuhan tinggi tanaman mengalami penurunan pada setiap dosisnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa radiasi sinar gamma ⁶⁰Co mempengaruhi pertumbuhan tanaman kedelai edamame. Hasil Uji T menunjukkan bahwa dosis radiasi 400 Gy memiliki perbedaan yang sangat nyata dengan kontrol pada parameter tinggi tanaman dan jumlah daun. Menurut Nuraeni dkk. (2023) paparan sinar gamma pada benih memiliki potensi untuk meningkatkan persentase perkecambahan, kecepatan perkecambahan, pertumbuhan radikula, pertumbuhan plumula, dan tinggi tanaman pada fase perkecambahan benih dengan memberikan dosis yang sesuai. Amilin dkk. (2015) juga mengatakan bahwa peningkatan dosis

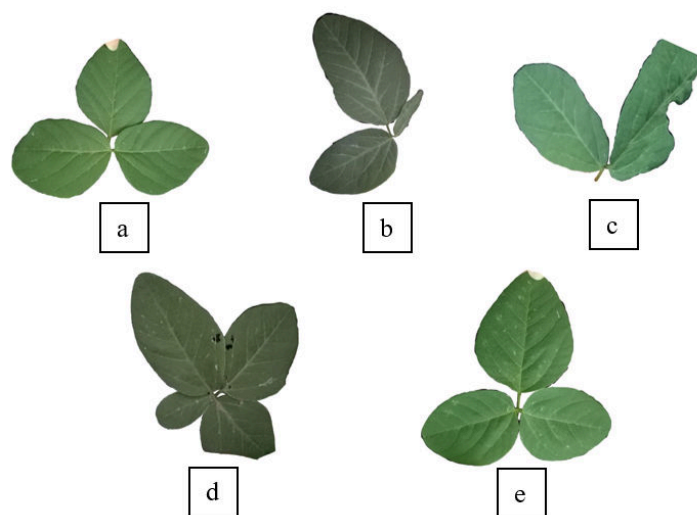
Tabel 3. Rata-rata Tinggi, Jumlah Daun, Jumlah Polong, dan Berat 100 Biji Tanaman Kedelai Edamame Varietas Lokal Jember Hasil Iradiasi Sinar Gamma ⁶⁰Co

Dosis Iradiasi Sinar Gamma	Tinggi Tanaman (cm)	Jumlah Daun (helai)	Jumlah Polong (buah)	Berat 100 Biji (g)
0 Gy/Kontrol	22,47	8,33	17,89	10,67
100 Gy	23,47	10,73*	15,15	41,00
200 Gy	26,07*	10,13	21,12	39,33
300 Gy	21,60	10,40	18,27	40,33
400 Gy	27,93**	16,33**	20,97	41,00
500 Gy	20,93	7,53	17,01	39,00

Keterangan: ** berbeda sangat nyata terhadap perlakuan 0 Gy/Kontrol berdasarkan uji t pada taraf 1%

* berbeda nyata terhadap perlakuan 0 Gy/Kontrol berdasarkan uji t pada taraf 5%

Sumber: Data Diolah, 2024



Gambar 2. Bentuk Daun Tanaman Kedelai Edamame (a) Kontrol, (b, c, d, e) Hasil Iradiasi Sinar Gamma ^{60}Co

iradiasi akan semakin menghambat daya tumbuh tanaman tersebut disebabkan pengaruh efek deterministik akibat sinar gamma. Efek deterministik tersebut merupakan kondisi kematian sel akibat paparan radiasi.

Parameter jumlah polong dan berat 100 biji menunjukkan tidak adanya perbedaan yang nyata terhadap kontrol. Uji T pada berat 100 biji tanaman kedelai edamame juga tidak menunjukkan perbedaan yang nyata terhadap kontrol. Ghosyepa & Kusmiyati (2018) menyatakan bahwa bervariasinya data jumlah polong dan berat 100 biji tanaman kedelai hitam diduga karena adanya perubahan gen pada tanaman.

Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma ^{60}Co Terhadap Bentuk Daun

Keragaman tanaman yang disebabkan oleh radiasi sinar gamma ^{60}Co juga berdampak pada bentuk daun tanaman kedelai edamame. Ekspresi genetik benih yang diperlakukan menghasilkan beberapa variasi bentuk daun. Beberapa bentuk daun yang didapatkan selama pengamatan disajikan pada Gambar 2. Bentuk daun pada Gambar 2a merupakan bentuk daun dari tanaman kedelai edamame varietas Lokal Jember pada kondisi normal dan tanpa iradiasi (kontrol).. Bentuk daun pada Gambar 2b berasal dari tanaman kedelai yang diperlakukan pada dosis 200 Gy dan 400 Gy dengan ciri daun bertiga dengan salah satu anak daun berukuran kecil. Gambar 2c merupakan bentuk daun yang ditemukan pada tanaman dengan perlakuan dosis 100 Gy dan 500 Gy dengan bentuk cenderung daun oval. Bentuk daun pada Gambar 2d ditemukan pada tanaman dengan perlakuan 300 Gy dengan ciri bentuk oval namun cenderung melancip pada bagian ujung daun disertai bercak putih pada permukaan serta memiliki 4 anak daun. Selanjutnya, bentuk daun pada gambar 2e ditemukan pada tanaman 100 Gy cenderung memiliki ciri menyerupai daun normal (kontrol) namun terdapat bercak putih di permukaannya. Perubahan pada bentuk daun tersebut diduga disebabkan oleh adanya perubahan susunan genetik sehingga memunculkan suatu sifat baru yang berbeda dibandingkan ciri khas varietas aslinya. Menurut Lisdyayanti dkk. (2019), perubahan-perubahan pada genetik tanaman akibat iradiasi sinar gamma tidak dapat diprediksi, sehingga sifat mutasi yang dihasilkan bersifat acak,

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat ditarik simpulan bahwa *Lethal dose* 20 (LD_{20}) dan *lethal dose* 50 (LD_{50}) pada kedelai edamame Varietas Lokal Jember secara berturut-turut adalah 143,32 dan 551,881. Iradiasi sinar gamma ^{60}Co berpengaruh terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai edamame varietas Lokal Jember. Dosis perlakuan 400 Gy mempengaruhi tinggi tanaman dan jumlah daun.

DAFTAR PUSTAKA

Amilin, A., Zumani, D., & Sunarya, Y. (2015). Orientasi dosis dan pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap pertumbuhan stadia awal beberapa varietas kedelai (*Glycine max* (L.) Merril). *Jurnal Siliwangi Seri Sains Dan Teknologi*, 1(1), 14–21.

Plumula : Berkala Ilmiah Agroteknologi: Vol.13. No. 1 Januari 2025

- Asadullah, M., Satmoko, S., & Mardiningsih, D. (2018). Efektivitas Media Video Dalam Peningkatan Pengetahuan Petani Terhadap Budidaya Edamame Di Kelompok Tani “Sederhana”, Kelurahan Bandungan, Kabupaten Semarang (Effectiveness of Video in Improving Knowledge of Farmers about Edamame Cultivation In The Sederha. *Agrisocionomics: Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 2(2), 94–100.
- Astuti, D., Sulistyowati, Y., & Nugroho, S. (2019). Uji Radiosensitivitas Sinar Gamma untuk Menginduksi Keragaman Genetik Sorgum Berkadar Lignin Tinggi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop Dan Radiasi*, 15(1), 1–6. <https://jurnal.batan.go.id/index.php/jair/article/view/4709>
- Badriyah, Z. (2024). Iradiasi Sinar Gamma Pada Tanaman Kedelai (Glycine Max L) Untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman Dilihat Dari Dosis Yang Digunakan. *Seminar Nasional Pariwisata Dan Kewirausahaan (SNPK)*, 3, 791–797. <https://doi.org/10.36441/snpk.vol3.2024.301>
- Firsa, 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). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.37338>
- Ghosyepa, A., & Kusmiyati, F. (2018). Ketahanan kedelai varietas Detam 3 hasil iradiasi sinar gamma di tanah salin (Tolerance of soybean variety Detam 3 resulted from gamma irradiation at saline soil). *J. Agro Complex*, 2(3), 261–268. <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/joac>
- Harsanti, L., & Yulidar. (2016). The effect of gamma radiation from sources 60Co of soybean for shade tolerant. *Proceedings of the Meeting and Scientific Presentations on Basic Science Research and Nuclear Technology*, 250. http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:48081182
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2023). *Analisis Kinerja Perdagangan Kedelai*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian.
- Kurniasanti, S. A., Sumarwan, U., & Kurniawan, B. P. Y. (2014). Analisis Dan Model Strategi Peningkatan Daya Saing Produk Edamame Beku. *Jurnal Manajemen Dan Agribisnis*, 11(3), 154–163.
- Lisdyananti, N. D., Anwar, S., & Adriani Darmawati. (2019). Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma Terhadap Induksi Kalus dan Seleksi Tingkat Toleransi Padi (Oryza sativa L.) terhadap Cekaman Salinitas secara In-Vitro. *Berkala Bioteknologi*, 2(2), 67–75.
- Moeljani, I. R., Makziah, & Wahyuni, E. (2022). Estimation of Genetic Diversity and Ld50 Determination of Red Onion (Allium cepa var ascalonicum. Linn) Variety of Bauji Results In Gamma Irradiation 60Co. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 12(3), 183–190. <https://doi.org/10.29244/jhi.12.3.183-190>
- Nisak, K., & Saputro, T. B. (2017). Respon Perkecambahan Tembakau (Nicotiana tabacum) Varietas Japon Mawar Hasil Iradiasi Sinar Gamma. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 6(2). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v6i2.26241>
- Nuraeni, N., Hernawati, H., Rani, S. R. A., L, M. S., & Putri, A. A. (2023). Pertumbuhan Tanaman Kedelai (Glycine Max L.) Hasil Radiasi Sinar Gamma Cesium-137. *Journal Online of Physics*, 8(3), 51–57. <https://doi.org/10.22437/jop.v8i3.23715>
- Prastiko, F. N., Moeljani, I. R., & Suhardjono, H. (2024). Iradiasi Sinar Gamma Co terhadap Tanaman Bawang putih (Allium sativum L.) Varietas Lumbu Kuning Generasi Kedua (M2) 60. *Plumula : Berkala Ilmiah Agroteknologi*, 12(2), 109–114. <https://doi.org/10.33005/plumula.v12i2.215>
- Supriyatna, A., Khoerunnisa, A. S., Maulidina, A., Maulidina, I., & Azizah, I. D. M. N. (2024). Efek Induksi Mutasi Radiasi Gamma Terhadap Pertumbuhan Fisiologis Tanaman Kedelai (Glycine Max (L) Merrill). *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Tanaman*, 2(2), 68–76. <https://doi.org/10.55606/jurrit.v2i2.2455>
- Vazilla, D., Nura, & Halimursyadah. (2023). Pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap viabilitas dan vigor benih serta performansi pada fase vegetatif tanaman cabai (Capsicum annuum L.) Lokal Aceh. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 8(2), 119–128. www.jim.unsyiah.ac.id/JFP