

Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Cobalt-60 Terhadap Sifat Morfologi dan Agronomi Ketiga Varietas Jagung (*Zea mays* L.)

(Effect of Gamma Cobalt-60 Radiation to Morphology and Agronomic of Three Maize Cultivar (*Zea mays* L.))

Makhziah*, Sukendah, Yonny Koentjoro

(Diterima September 2016/Disetujui Maret 2017)

ABSTRAK

Mutasi adalah satu cara untuk meningkatkan keragaman genetik dalam pemuliaan tanaman sehingga sifat yang dituju lebih mudah diperoleh. Biji dari tiga varietas jagung (Bisma, lokal Madura, dan Gumarang) diradiasi dengan sinar gamma ⁶⁰cobalt (dosis 0, 100, 200, dan 300 Gy) kemudian ditanam dalam rancangan petak terbagi dengan rancangan acak kelompok yang diulang tiga kali untuk dievaluasi karakter morfologi dan agronominya. Petak utama adalah varietas dan sebagai anak petak adalah dosis radiasi sinar gamma. Tidak terjadi interaksi nyata antara dosis sinar gamma dengan varietas jagung, namun peningkatan dosis sinar gamma menyebabkan penurunan beberapa sifat. Beberapa karakter seperti tinggi tanaman dan jumlah daun menurun secara nyata ketika dosis sinar gamma meningkat dari 100 menjadi 300 Gy, demikian juga komponen hasil seperti berat biji per tanaman dan jumlah biji per tongkol. Gamma 200 menghasilkan lebih banyak tongkol dibandingkan dosis yang lain. Varietas Bisma menunjukkan penampilan yang lebih baik dibandingkan Gumarang dan lokal Madura baik untuk sifat morfologi dan agronomi.

Kata kunci: jagung, radiasi gamma, varietas

ABSTRACT

Mutation is one of the ways to improve genetic variation in plant breeding so the target traits were more easily obtained. Grains of three varieties of maize (Bisma, Madura local, and Gumarang) were treated with gamma ⁶⁰cobalt irradiation doses (0, 100, 200, and 300 Gy) before sowing then planted in a split plot randomized block design with three replication, to be evaluated for their morphology and agronomic traits. The Main plot was cultivars and sub plot was gamma radiation rates. There was no interaction between gamma rates and cultivars of maize, but increasing of gamma rates caused decreasing of some traits. Some traits such as plant height and leaves number were decreased significantly when gamma rate increased 100 to 300 Gy as well yield components such as grain weight and grain number per ear. Gamma 200 caused produce more ears than other rates. Bisma exhibited greater performance than Madura and Gumarang both of morphology and agronomic traits.

Keywords: gamma irradiation, maize, varieties

PENDAHULUAN

Mutasi adalah perubahan materi genetik yang dapat diwariskan dan individu yang mengalami mutasi disebut mutan (Mba 2013). Perubahan dapat terjadi pada tingkat pasangan basa, tingkat satu ruas DNA, bahkan pada tingkat kromosom (Jusuf 2001). Jika mutasi terjadi pada sel somatik, maka perubahan hanya pada bagian itu dan tidak diwariskan, namun apabila mutasi terjadi pada sel generatif, maka dapat diwariskan pada generasi berikutnya (Poespodarsono 1988).

Induksi terhadap mutasi dapat terjadi secara alami maupun buatan. Mutasi buatan terjadi bila digunakan mutagen dengan dosis dan waktu tertentu

Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Jl. Raya Rungkut Madya, Gn. Anyar, Kota SBY, Jawa Timur 60294.

* Penulis Korespondensi:

E-mail: makhziah.agro@upnjatim.ac.id

(Poespodarsono 1988). Terdapat beberapa tipe mutagen, yaitu mutagen fisik dan kimia. Mutagen fisik yang umum digunakan adalah energi sinar X, neutron, dan sinar gamma (Welsh 1992).

Dalam bidang pemuliaan tanaman, mutasi buatan sering dipakai untuk meningkatkan keragaman genetik dalam perakitan varietas baru. Sinar gamma merupakan mutagen yang paling banyak digunakan dalam memproduksi varietas mutan (Soeranto 2003). Radiasi sinar gamma merupakan radiasi ionisasi. Bentuk radiasi ini dapat menembus sel-sel dan jaringan dengan mudah (Pai 1999). Sinar gamma diperoleh dari peluruhan zat radioaktif yang dipancarkan dari atom dengan kecepatan tinggi karena kelebihan energi. Panjang gelombang sinar gamma lebih pendek dari sinar X tetapi energinya lebih besar. Radiasi sinar gamma dapat dipancarkan oleh ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, dan lain-lain (Soeminto 1985).

Mutasi dapat menyebabkan perubahan sifat-sifat genetik ke arah positif dan negatif yang dapat diwaris-

kan ke generasi berikutnya, namun bisa juga kembali normal. Perubahan sifat ke arah positif yang terwariskan adalah mutasi yang dikehendaki dalam bidang pemuliaan tanaman (Soeranto 2003).

Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) telah mengeluarkan beberapa varietas tanaman pangan seperti padi, kedelai, dan kacang hijau hasil mutasi induksi sinar gamma (Soeranto 2003). Penelitian Hartini (2008) menunjukkan bahwa mutasi induksi dengan sinar gamma ^{60}Co pada tanaman kedelai menyebabkan perubahan dan keragaman pada warna bunga, bentuk daun, jumlah daun, terdapat tinggi tanaman yang lebih pendek, ukuran biji yang lebih besar, dan mutan gen *G α* . Mutasi dengan sinar gamma juga meningkatkan kandungan beberapa asam amino esensial biji kedelai (Soedarti *et al.* 2011). Mudibu *et al.* (2012) melaporkan generasi M_2 menghasilkan berat biji dan ukuran biji kedelai meningkat. Sing *et al.* (2015) mengumpulkan laporan beberapa peneliti dan menyimpulkan tanaman kedelai yang mengalami mutasi buatan dapat menyebabkan perubahan sifat-sifat morfologis dan fisiologis, yaitu tinggi tanaman menjadi lebih tinggi dan lebih pendek, perubahan tipe pertumbuhan *determinate* menjadi *indeterminate*, batang lebih tebal, ruas lebih pendek, biji bisa lebih cepat masak, jumlah polong lebih banyak, dan produksi biji lebih tinggi. Hasil penelitian Koentjoro *et al.* (2014) menunjukkan bahwa dosis radiasi sinar gamma ^{60}Co sebesar 100–300 Gy memberikan hasil terbaik pada pertumbuhan tanaman kedelai.

Tanaman jagung yang berdaya hasil tinggi dan toleran pada nutrisi yang rendah terutama unsur nitrogen (N) yang banyak dibutuhkan oleh tanaman jagung sangat penting untuk dikembangkan, karena secara ekonomis dapat mengurangi kebutuhan pupuk N yang besar, meminimalisir dampak negatif akibat pemupukan N yang berlebihan terhadap lingkungan dan mengoptimalkan lahan-lahan marginal. Diharapkan dengan memanfaatkan teknologi mutasi dengan radiasi sinar gamma akan diperoleh materi genetik jagung yang mempunyai sifat potensi hasil tinggi, toleran N rendah serta genjah, sehingga menguntungkan secara ekonomis dengan waktu tanam yang lebih pendek dan mengurangi kebutuhan air.

Indonesia masih sedikit laporan tentang mutasi induksi dengan sinar gamma pada tanaman jagung. Rafiuddin *et al.* (2013) melaporkan hasil penelitian awal untuk parameter perkecambahan dari tanaman M_1 jagung yang diradiasi sinar gamma menunjukkan bahwa dosis 100 Gy menghasilkan mutan superior untuk persentase perkecambahan. Sedangkan Sutjahjo *et al.* (2009) meneliti genotipe jagung hasil mutasi induksi dengan sinar gamma untuk sifat toleran tanah masam dan keragaman tertinggi dicapai pada dosis 275 Gy.

Tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi karakter morfologi dan agronomi tiga varietas jagung yang telah diradiasi dengan sinar gamma ^{60}Co .

METODE PENELITIAN

Benih dari tiga varietas jagung (Bisma, Gumarang, dan lokal Madura) diradiasi dengan sinar gamma ^{60}Co di Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi BATAN Jakarta dengan dosis 0, 100, 200, dan 300 Gy. Benih segera ditanam pada bulan April 2016 di kebun percobaan Fakultas Pertanian, UPN Veteran Jawa Timur dengan rancangan petak terbagi dalam rancangan acak kelompok yang diulang tiga kali. Sebagai petak utama adalah varietas dan anak petak adalah dosis radiasi sinar gamma.

Benih ditanam dengan memasukkan satu benih ke dalam lubang tanam sebanyak 40 tanaman untuk tiap satuan percobaan dalam dua baris dengan jarak tanam 75 x 20 cm. Pupuk dasar, yaitu pupuk P dan K diberikan saat tanam sebesar 100 dan 75 kg/ha dalam bentuk SP36 dan KCl serta kompos diberikan sebanyak 50 ton/ha. Pupuk N dosis 180 kg/ha diberikan dalam bentuk pupuk urea diberikan tiga kali pada umur 10, 35, dan 50 hari masing-masing 1/3 bagian.

Sifat yang diamati meliputi tinggi tanaman (cm), jumlah daun, diameter batang (cm), umur keluar bunga jantan & betina (hari), selang keluar bunga jantan & betina (hari), umur masak (hari), letak tongkol, jumlah tongkol, umur masak fisiologis (hari), berat biji (g), dan berat 100 biji (g). Data dianalisis sebagai rerata \pm standar deviasi berdasarkan analisis ragam dilanjutkan uji Tukey menggunakan SPSS 17.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis ragam (Tabel 1) menunjukkan tidak terjadi interaksi nyata antara dosis radiasi sinar gamma cobalt 60 dengan varietas jagung terhadap semua karakter yang diamati namun dosis radiasi dan varietas jagung berpengaruh nyata pada beberapa sifat yang diamati.

Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Cobalt 60 dan Varietas Jagung Pada Sifat Morfologi

Tidak terjadi interaksi nyata antara dosis radiasi sinar gamma dengan varietas jagung terhadap semua sifat morfologi. Pengaruh dosis radiasi sinar gamma Co^{60} nyata memengaruhi karakter tinggi tanaman dan jumlah daun, sedangkan varietas berpengaruh terhadap jumlah daun. Efek radiasi menyebabkan penurunan karakter tinggi tanaman dan jumlah daun. Semakin tinggi dosis sinar gamma Co^{60} (200 & 300 Gy) yang diberikan semakin nyata menurunkan tinggi tanaman dan jumlah daun, sementara diameter batang tidak berpengaruh nyata pada uji beda nyata jujur 5% (Tabel 2). Pada dosis 300 Gy banyak terjadi abnormalitas pertumbuhan dan juga banyak biji yang tidak tumbuh atau mati sebesar 38,13% pada Bisma, 43,17% pada lokal Madura, dan 49,75% pada Gumarang.

Tabel 1 Analisis ragam karakter morfologi dan agronomi tiga varietas jagung yang diradisi dengan beberapa dosis sinar gamma

Sumber keragaman	db	Kuadrat tengah											
		TT	JD	DB	A	S	ASI	M	LT	JT	BB	JB	100b
Kelompok	2	499	0,30	0,04	5	6	0,5	7	0,1	0,0	43	3.778	0,3
Varietas	2	1.905**	6,35**	0,01	404**	547**	16,1**	847**	1,4*	0,1**	2.231*	21.382*	13,9
Galat a	4	384	0,34	0,05	2,4	3	0,5	2	0,2	0,0	212	1.218	2,5
Dosis radiasi (gray)	3	2.451**	1,71**	0,02	1,9	1	0,7	2	1,5**	0,0	296**		4,2
Varietas X dosis radiasi	6	102	0,35	0,02	2,7	4	0,1	0	0,2	0,0	20	1.563	
Galat b	18	206	0,31	0,04	1,8	3	1,2	11	0,2	0,0	40	1.520	3,7
Total	35												2,2

Keterangan: TT, tinggi tanaman; JD, jumlah daun; DB, diameter batang; A, antesis; S, silking; ASI, selang keluar bunga jantan-betina; M, masak fisiologis; LT, letak tongkol; JT, jumlah tongkol; BB, berat biji; JB, jumlah biji; 100b, berat 100 biji.

Tabel 2 Rerata karakter morfologi pada tiga varietas jagung karena dosis radiasi sinar gamma

Dosis radiasi (gray)	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah daun	Diameter batang (mm)
0	178,3 ^a	11,7 ^a	1,9
100	180,3 ^a	11,5 ^{ab}	1,9
200	160,5 ^b	11,0 ^{bc}	2,0
300	145,2 ^c	10,8 ^c	1,8
BNJ 5 %	14,9	0,6	tn
Varietas			
Bisma	175,0	11,9 ^a	
Lokal Madura	171,5	10,5 ^b	1,9
Gumarang	151,7	11,4 ^{ab}	1,9
BNJ 5 %	tn	0,7	tn

Keterangan: angka diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda pada uji beda nyata jujur (BNJ) 5%; tn: tidak nyata.

Hasil penelitian Mudibu *et al.* (2012) pada tanaman kedelai yang diradisi sinar gamma dosis 200–400 Gy juga menunjukkan penurunan di hampir semua sifat agronomi dan morfologi termasuk tinggi tanaman dan diameter batang. Sementara peneliti lain juga melaporkan penurunan sifat akibat peningkatan dosis sinar gamma seperti pada pertumbuhan tanaman kacang merah (Nouri & Tavassoli 2012) bibit kacang gude (*Cajanus cajan*) (Desai & Rao 2014), bibit bawang merah (Kebeish *et al.* 2015), dan bibit jarak pagar (Songsri *et al.* 2011). Paparan radiasi ionisasi yang mengenai sistem biologis mengaktifkan sejumlah reaksi kimia dan fisika dimulai dari absorpsi awal energi sampai akhirnya terjadi kerusakan biologis (Esnault *et al.* 2010). Selanjutnya menurut Esnault *et al.* (2010) hasil reaksi eksitasi dan ionisasi maka terbentuk molekul air yang terionisasi dan radikal bebas. Radikal bebas ini yang dapat merusak atau memodifikasi komponen sel tumbuhan sehingga memengaruhi proses kimia dan biologi yang mungkin sangat vital bagi kelangsungan hidup suatu organisme (Marcu *et al.* 2013).

Varietas jagung tidak berpengaruh nyata pada tinggi tanaman dan diameter batang, sementara untuk jumlah daun berbeda nyata dimana Bisma mempunyai jumlah daun terbanyak kemudian Gumarang dan paling sedikit lokal Madura.

Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Cobalt⁶⁰ dan Varietas Jagung Pada Sifat Agronomi

Masa generatif pertumbuhan tanaman jagung diawali dengan muncul bunga jantan (antesis) kemudian

diikuti muncul bunga betina (*silking*). Selang waktu antara muncul bunga jantan dan betina disebut *anthesis-silking interval* (ASI). ASI mempunyai arti fisiologis berkaitan dengan toleransi tanaman terhadap cekaman lingkungan karena semakin lama selang keluar bunga jantan-bunga betina menyebabkan bakal biji tidak dibuahi (Gallais & Hirel 2004). Radiasi sinar gamma tidak memengaruhi antesis, *silking*, ASI, dan juga saat masak fisiologis biji kecuali letak tongkol dimana dosis 200 dan 300 Gy mempunyai letak tongkol yang lebih rendah (Tabel 3). Sementara untuk ketiga varietas mempunyai waktu yang berbeda terhadap waktu antesis, *silking*, ASI, dan masak fisiologis karena secara genetis ketiga varietas mempunyai umur yang berbeda, dimana Bisma mempunyai umur dalam, Gumarang berumur sedang, dan lokal Madura berumur genjah.

Pengaruh Radiasi Sinar Gamma ⁶⁰cobalt dan Varietas Jagung pada Komponen Hasil

Radiasi sinar gamma ternyata memengaruhi komponen hasil, yaitu jumlah tongkol, berat biji per tanaman, dan jumlah biji (Tabel 4). Berat biji per tanaman diukur pada kadar air kurang lebih 15%. Radiasi menyebabkan jumlah tongkol lebih banyak dibandingkan tanpa radiasi. Dosis 200 Gy menghasilkan tongkol paling banyak. Demikian juga berat dan jumlah biji tertinggi dicapai oleh dosis radiasi 200 Gy. Sementara ukuran biji yang dihitung dengan berat 100 biji tidak dipengaruhi oleh radiasi sinar gamma. Penelitian Mohsen *et al.* (2016) menyebutkan bahwa lama radiasi sinar gamma memengaruhi jumlah tongkol

Tabel 3 Rerata karakter masa generatif pada tiga varietas jagung karena dosis radiasi sinar gamma

Dosis radiasi (gray)	Antesis (hari)	Silking (hari)	ASI (hari)	Masak	Letak tongkol
0	51,2	54,8	4,4	77,0	6,7 ^a
100	50,5	54,2	4,0	77,7	6,5 ^a
200	50,1	54,6	4,7	77,9	6,1 ^b
300	50,4	54,4	4,6	78,0	5,8 ^b
BNJ 5 %	tn	tn	tn	tn	0,5
Varietas					
Bisma	57,2 ^a	62,1 ^a	5,7 ^a	85,6 ^a	6,6 ^a
Madura	46,6 ^b	49,5 ^b	3,4 ^c	68,8 ^c	6,3 ^{ab}
Gumarang	47,9 ^b	51,9 ^b	4,3 ^b	78,5 ^b	5,9 ^b
BNJ 5 %	1,8	1,9	0,84	1,7	0,5

Keterangan: angka diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda pada uji beda nyata jujur (BNJ) 5%; tn: tidak nyata.

Tabel 4 Rerata komponen produksi pada tiga varietas jagung karena dosis radiasi sinar gamma

Dosis radiasi (gray)	Jumlah tongkol	Berat biji (g)/tanaman	Jumlah biji	Berat 100 biji (g)
0	1,05 ^b ±0,04	54,7 ^a ±5,33	240,4 ^b ±27	22,7 ±0,9
100	1,15 ^{ab} ±0,12	56,2 ^a ±5,99	259,8 ^a ±47,0	21,5 ±1,3
200	1,19 ^a ±1,19	45,6 ^b ±8,93	210,0 ^b ±20,7	21,1 ±1,1
300	1,16 ^{ab} ±1,16	45,6 ^b ±8,93	169,1 ^c ±13,4	21,7 ±0,5
BNJ 5 %	0,11	6,6	40,6	1,6
Varietas				
Bisma	1,08 ^b ±0,06	62,1 ^a ±9,06	262,0 ^a ±32,9	85,6 ^a ±1,2
Madura	1,22 ^a ±0,11	49,5 ^b ±2,94	177,6 ^c ±25,5	68,8 ^c ±0,9
Gumarang	1,11 ^a ±0,09	51,9 ^b ±9,87	220,0 ^b ±30,3	78,5 ^b ±1,0
BNJ 5 %	0,07	1,9	39,6	1,7

Keterangan: angka diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda pada uji beda nyata jujur (BNJ) 5%; tn: tidak nyata

jagung, berat biji, dan ukuran biji dimana pada radiasi selama 1 hari menghasilkan tongkol terbanyak, berat dan ukuran biji terbesar dibandingkan tanpa radiasi, dan radiasi selama 2 dan 3 hari. Menurut laporan Haidar *et al.* (2016) dari hasil penelitian Emrani *et al.* (2012) bahwa meningkatnya dosis sinar gamma dari 100–600 gray bahwa mulai 200–600 gray menyebabkan menurunnya pertumbuhan tanaman dan jumlah biji tanaman jagung.

Diduga dengan semakin meningkatnya dosis radiasi sinar gamma yang berarti menunjukkan lamanya waktu radiasi semakin besar tingkat kerusakan yang disebabkan semakin besarnya energi radiasi. Oleh sebab itu, perlu dipelajari berapa dosis radiasi sinar gamma yang tepat untuk menyebabkan terjadi perubahan genetik namun yang tidak menyebabkan kerusakan akibat perubahan gen yang parah.

Varietas yang berumur lebih dalam mempunyai berat, jumlah, dan berat 100 biji yang lebih banyak, Bisma mempunyai berat biji per tanaman lebih besar dibandingkan Gumarang dan lokal Madura yang berumur lebih pendek, namun jumlah tongkol lebih banyak pada varietas lokal Madura.

KESIMPULAN

Radiasi sinar gamma cobalt 60 memengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman jagung dimana semakin meningkat dosis sinar gamma ⁶⁰Co menyebabkan penurunan tinggi tanaman, jumlah daun, berat biji per tanaman, dan jumlah biji. Varietas Bisma mempunyai pertumbuhan dan hasil yang paling besar

dibandingkan dengan Gumarang dan lokal Madura karena mempunyai umur masak yang paling lama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Kementerian RISTEK-DIKTI yang telah membiayai penelitian ini melalui skim Penelitian Strategis Nasional TA 2016.

DAFTAR PUSTAKA

- Desai AS, Rao S. 2014. Effect of Gamma Radiation on Germination And Physiological Aspects Of Pigeon Pea (*Cajanus Cajan* (L.) Millsp) Seedlings. *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*. 2(6): 47–52.
- Emrani SN, Arzani A, Saeidi G, Abtahi M, Banifateme M, Parsa MB, Fotokian MH. 2012. Evaluation of induced genetic variability in agronomic traits by gamma irradiation in canola (*Brassica napus* L.). *Pakistan Journal of Botany*. 44(4): 1281–1288.
- Esnault MA, Legue F, Chenal C. 2010. Ionizing Radiation: Advances in Plant Response. *Environmental, Experimental Botany*. 68(3): 231–237. <http://doi.org/c43v25>

- Gallais A, Hirel B. 2004. An approach to the genetics of nitrogen use efficiency in maize. *Journal of Experimental Botany*. 55(396): 295–306. <http://doi.org/cd6h4s>
- Haidar I, Ahsan M, Ali Q, Sajjad M, Uzair M, Rabia Kalsoom R, Saif-Ul-Malook. 2016. Use of Radiations to Study Useful Mutations in *Zea mays* for Grain Yield: A Review. *Nature and Science*. 14(5): 66–75. <http://doi.org/b537>
- Hartini S. 2008. Mutasi induksi Dengan Irradiasi Sinar Gamma Pada Kedelai (*Glycine Max* (L.) Merrill) Kultivar Slamet dan Lumut. [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Jusuf M. 2001. *Genetika I Struktur dan Ekspresi Gen*. Jakarta (ID): Sagung Seto.
- Kebeish R, Deef HE, El-Bialy N. 2015. Effect of Gamma Radiation on Growth, Oxidative Stress, Antioxidant System, and Alliin Producing Gene Transcripts in *Allium sativum*. *International Journal of Research Studies in Biosciences*. 3(3): 161–174.
- Koentjoro Y, Makhziah, Moeljani IR. 2014. Penentuan Dosis Radiasi Sinar Gamma ⁶⁰Cobalt Pada Tanaman Kedelai untuk Sifat Produksi Tinggi, *Prosiding Seminar Nasional PERIPI*, Universitas Jember, Jember (ID), 22–23 Oktober 2014.
- Marcu D, Damian G, Cosma C, Cristea V. 2013. Gamma radiation effects on seed germination, growth and pigment content, and ESR study of induced free radicals in maize (*Zea mays*). *Journal of Biology and Physics*. 39(4): 625–634. <http://doi.org/b538>
- Mba C. 2013. Induced Mutations Unleash the Potentials of Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. *Agronomy*. 3(1): 200–231. <http://doi.org/b539>
- Mohsen M, Vahid MMA, Bagher AM, Mahdi T. 2016. Studying the effect of Gamma Ray on Morphological and Phenotypic Properties of Corn. *Greener Journal of Physics and Natural Sciences*. 3(1): 001–008. <http://doi.org/b54b>
- Mudibu J, Nkongolo KKC, Kalonji-Mbuyi A, Kizungu RV. 2012. Effect of Gamma Irradiation on Morpho-Agronomic Characteristics of Soybeans (*Glycine max* L.). *American Journal of Plant Sciences*. 3(3): 331–337. <http://doi.org/b54c>
- Nouri H, Tavassoli A. 2012. Effect of gamma rays on pod and seed production and economic yield in pinto bean cultivar of Khomein. *Annals of Biological Research*. 3(5): 2399–2404.
- Pai AC. 1999. *Dasar-dasar Genetika*. Jakarta (ID): Erlangga.
- Poespodarsono S. 1988. *Dasar-Dasar Ilmu Pemuliaan Tanaman*. Pusat Antar Universitas Insititut Pertanian Bogor & Lembaga Sumber Daya Informasi-IPB, Bogor (ID).
- Rafiuddin, Dahlan D, Musa Y, Rasyid B, Farid M. 2013. Germination Viability of Maize M1 Seeds (*Zea mays* L.) after Gamma Ray Irradiation. *International Journal of Agriculture Systems*. 1(2): 112–118.
- Singh SP, Gaurav SS, Singh SB, Singh V, Singh YK. 2015. Mutagenetic studies in soybean [*glycine max* (L.) Merrill]—a review. *Frontiers in Crop Improvement Journal*. 3(1): 1–8.
- Soedarti T, Loegito M, Prihiyantoro E. 2011. Pengaruh iradiasi sinar gamma co60 pada biji kedelai (*Glycine max* (L) Merill) varietas Wilis terhadap kandungan asam amino esensial biji kedelai. *Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*. 14 (2): 1–3.
- Soeminto B. 1985. *Manfaat Tenaga Atom untuk Kesejahteraan Manusia*. Jakarta (ID): Karya Indah.
- Soeranto H. 2003. Peran Iptek Nuklir dalam Pemuliaan Tanaman untuk Mendukung Industri Pertanian, *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, P3TM BATAN, Yogyakarta 8 Juli 2003, ISSN 0216-3128.
- Songsri P, Suriharn B, Sanitchon J, Srisawangwong S, Kesmla T. 2011. Effect of gamma radiation on germination and growth characteristic of hysics nut (*Jatropha curcas* L). *Journal of Biological Science*. 11(3): 268–274. <http://doi.org/btwcmg>
- Sutjahjo SH, Sukma D, Rustikawati. 2009. Perakitan Kultivar Unggul Jagung Toleran Kemasaman dari Mutan Radiasi Sinar Gama dan Varian Somaklon. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian IPB*.
- Welsh JR. 1992. *Dasar-dasar Genetika dan Pemuliaan Tanaman*. Jakarta (ID): Penerbit Erlangga.