Induksi Mutasi Fisik dengan Iradiasi Sinar Gamma pada Kacang Merah***Physical Mutation Induced by Gamma Ray Irradiation on Kidney Beans*****Siti Marwiyah*, Heny Purnamawati, Pinni Iyunika Sembiring**Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jalan Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia*Penulis untuk korespondensi. email: wie.marwiyahs@gmail.com

Diterima 20 November 2016/Disetujui 9 Januari 2017

ABSTRACT

*Physical mutation induction by gamma ray irradiation can increase the genetic diversity to support the selection of certain characters in plant breeding. Varieties is the key to improving the productivity of kidney beans (*Phaseolus vulgaris*) in Indonesia. This study aimed to study the effect of physical mutation induction by gamma ray irradiation of the red bean genotypes Brast-1. The research was conducted from February to May 2016. The genetic material Brast genotype-1 was irradiated with four levels of gamma ray (55, 110, 165 and 220 Gy). Weight of 100 grains M1 at a dose of 55 Gy were significantly different from M0 is a positive change from the gamma ray irradiation treatment. Effect of gamma ray irradiation was indicated by the changing of the morphology of leaves, pods and seed color code of M2.*

Keywords: dose, change, genotype, M2 seed

ABSTRAK

*Induksi mutasi fisik dengan iradiasi sinar gamma dapat meningkatkan keragaman genetik untuk mendukung seleksi karakter-karakter tertentu dalam pemuliaan tanaman. Varietas merupakan kunci dalam peningkatan produktivitas kacang merah (*Phaseolus vulgaris*) di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh induksi mutasi fisik dengan iradiasi sinar gamma terhadap genotipe kacang merah Brast-1. Penelitian dilaksanakan bulan Februari sampai Mei 2016. Bahan genetik adalah genotipe Brast-1 yang diberi perlakuan empat taraf dosis iradiasi sinar gamma (55, 110, 165 dan 220 Gy). Bobot 100 butir M1 pada dosis 55 Gy yang berbeda nyata dengan M0 merupakan perubahan positif dari perlakuan iradiasi sinar gamma. Perubahan morfologi daun, karakter polong dan warna biji M2 menunjukkan adanya pengaruh iradiasi sinar gamma.*

Kata kunci: dosis, genotipe, M2, perubahan

PENDAHULUAN

Kacang merah atau kacang jogo (*kidney bean*) adalah salah satu dari spesies *Phaseolus vulgaris* L. yang dikonsumsi dalam bentuk biji kering (*dry ripe seeds*). Berbeda dengan kerabatnya yaitu buncis yang lebih sering dikonsumsi sebagai biji segar (*green sheed beans*). Kedua tanaman ini juga mendapatkan fokus yang berbeda sehingga pengembangan varietas kacang merah masih jauh tertinggal dibandingkan buncis, walaupun berbagai penelitian telah banyak dilakukan mulai dari aspek budidaya, pemuliaan, maupun benih terhadap berbagai aksesi kacang merah yang ada di Indonesia.

Kacang merah banyak dikembangkan di dataran tinggi. Sentra produksi kacang merah di Indonesia berada di Jawa Barat dan Jawa Tengah. Produksi nasional kacang merah dilaporkan mengalami fluktuasi terutama dalam periode tahun 2010-2014 dengan produktivitas terakhir mencapai 6.20 ton ha⁻¹ dari luasan panen 16 ha sedangkan

nilai produktivitas buncis pada tahun yang sama tercatat 11.11 ton ha⁻¹ (Ditjen Hortikultura, 2016).

Oleh karena itu perlu upaya perbaikan pada berbagai aspek terkait, salah satunya dari sisi genetik tanaman kacang merah itu sendiri. Perbaikan genetik tanaman dapat dilakukan melalui kegiatan pemuliaan tanaman yang harus didukung dengan ketersediaan keragaman genetik yang memadai dan seleksi yang tepat. Seleksi dapat diarahkan untuk pengembangan varietas unggul dengan wilayah adaptasi yang lebih beragam termasuk pemanfaatan lahan-lahan marjinal. Varietas adalah kunci dalam mencapai produktivitas tinggi (Sumpena *et al.*, 2013).

Rekombinasi genetik melalui persilangan ataupun manipulasi genetik secara acak dengan induksi mutasi adalah alternatif langkah yang mudah dan cukup murah dilakukan untuk menciptakan keragaman baru yang berbeda dengan induknya. Mutasi fisik dengan iradiasi sinar gamma banyak diaplikasikan pada berbagai jenis tanaman, baik untuk perbaikan karakter seperti dilaporkan pada tanaman ilies-iles

(Santosa *et al.*, 2014), kacang panjang (Kon *et al.*, 2007); peningkatan 'survival' tanaman terhadap cekaman tertentu seperti cekaman tanah masam pada kedelai (Hanafiah *et al.*, 2010), atau peningkatan metabolit sekunder tertentu misalnya peningkatan flavonoid pada *Cantella asiatica* (Moghaddam *et al.*, 2011).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap karakter kuantitatif dan kualitatif pada genotipe kacang merah Brast-1. Genotipe Brast-1 merupakan aksesori kacang merah tipe tegak yang berasal dari dataran tinggi Brastagi, Sumatera Utara, dan telah diadaptasikan beberapa musim di dataran rendah Bogor.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari-Mei 2016. Penelitian ini meliputi kegiatan: (1) perlakuan iradiasi sinar gamma di Laboratorium Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional (PATIR BATAN), dan (2) evaluasi M1 di Kebun Percobaan Leuwikopo, Departemen Agronomi dan Hortikultura, IPB.

Bahan genetik yang diuji adalah genotipe kacang merah Brast-1 yang memiliki tipe tumbuh determinat (tegak), memiliki warna dasar ungu tua pada kulit biji, dan latar belakang adaptasi yaitu dataran tinggi. Iradiasi sinar gamma dilaksanakan dengan empat perlakuan dosis yaitu 55, 110, 165, dan 220 Gy. Dosis tersebut mengacu pada nilai LD50 yang telah diperoleh Sembiring (2016) untuk genotipe kacang merah yang sama, yaitu 282.895 Gy.

Perlakuan iradiasi sinar gamma diberikan pada 72 benih Brast-1 untuk masing-masing dosis uji. Benih kontrol (M0) mendapat pengaruh lingkungan yang sama selama perjalanan proses iradiasi sinar gamma. Benih M1 dan M0 selanjutnya ditanam di lapangan di Kebun Percobaan Leuwikopo. Penanaman dilakukan tanpa ulangan karena setiap M1 diduga memiliki potensi genetik berbeda. M0 disebar pada tiga zona lahan percobaan (timur-tengah-barat).

Semua benih ditanam dalam bedengan yang ditutup dengan mulsa plastik hitam perak. Penanaman dilaksanakan dengan jarak tanam 50 cm x 40 cm dengan satu benih per lubang tanam. Bedengan dibuat dengan ukuran 4 m x 1 m x 0.5 m. Pupuk organik menggunakan 15 ton pupuk kambing per hektar yang telah diaduk dalam setiap bedengan saat pengolahan lahan. Pemupukan dilakukan dua kali yaitu 15 hari setelah tanam (HST) dan 35 HST masing-masing setengah dosis pupuk dasar (75 kg urea ha⁻¹, 100 kg SP36 ha⁻¹, dan 100 kg KCl ha⁻¹) pada kedua waktu pemupukan. Pupuk diberikan melalui lubang pupuk yang dibuat berjarak sekitar 8 cm dari lubang tanam. Pengendalian hama penyakit dimulai dengan memberikan insektisida granulat (carbofuran) saat tanam dan beberapa insektisida serta fungisida sesuai dengan kondisi tanaman di lapangan. Pemeliharaan lainnya meliputi penyiraman dan pengendalian gulma.

Panen dilaksanakan ketika polong mencapai masak fisiologis. Pemanenan selanjutnya dilaksanakan setiap

dua hari sampai tanaman kacang merah berumur 80 HST. Pengamatan dilakukan terhadap beberapa karakter kualitatif dan kuantitatif penting. Karakter kuantitatif meliputi sepuluh karakter yaitu tinggi tanaman (cm); jumlah buku, jumlah tandan, jumlah bunga, umur berbunga (HST), umur panen (HST), jumlah polong per tanaman, bobot biji per tanaman (g), dan bobot 100 butir biji (g) dari 20 butir biji contoh per tanaman. Karakter kualitatif (11 karakter) mengacu pada Panduan Pengujian Individual (PPI) yang dikeluarkan oleh Kantor PPVT (2007) untuk memberi pedoman karakter yang dapat diamati pada kacang merah yaitu warna hipokotil, bentuk daun, tekstur daun, posisi tandan bunga, warna mahkota bunga, irisan melintang polong; warna dasar polong; warna corak polong; warna dasar biji, warna corak biji, bentuk biji, irisan membujur bagian tengah biji dan warna hilum.

Data kuantitatif dianalisis dengan menghitung rata-rata ($\bar{x}$) dan dilanjutkan dengan uji t menggunakan *software* Minitab 14. Uji t dilakukan untuk mengetahui perbandingan atau perubahan yang terjadi antara populasi M1 dengan M0. Data kualitatif dianalisis secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebun percobaan Leuwikopo terletak pada ketinggian 197 m dpl. Suhu rata-rata selama penelitian berkisar 25.7-26.7 °C dan kelembaban udara 82-89%. Curah hujan diketahui cukup tinggi pada tiga bulan pertama yaitu 610, 644 dan 558.2 mm bulan⁻¹ dan menurun di bulan terakhir sampai 131.8 mm. Keadaan lingkungan tersebut memberikan gambaran lingkungan suboptimum yang dihadapi kacang merah dataran tinggi yang menyukai kondisi curah hujan 125-208 mm bulan⁻¹, suhu 20-25 °C (Kementan BPPSDMP, 2016).

Perlakuan iradiasi sinar gamma menyebabkan dua perubahan yang mudah diamati pada M1 dan M0 yaitu waktu berkecambah dan jumlah benih yang berkecambah. Benih yang mendapat perlakuan iradiasi biasanya menunjukkan perilaku berkecambah yang lebih lama dan tumbuh lebih sedikit. Keadaan demikian sama dengan perlakuan iradiasi pada buncis (Hameed *et al.*, 2008), *chickpea* (Shah *et al.*, 2010), kedelai (Hanafiah *et al.*, 2010a) dan kacang panjang (Kon *et al.*, 2007). Gambar 1 menggambarkan penurunan jumlah benih kacang merah yang berkecambah sejalan dengan peningkatan dosis iradiasi sinar gamma. Tanaman yang mendapat perlakuan dosis 275 Gy tidak dapat diamati lebih lanjut karena tidak menunjukkan perkembangan dan akhirnya mati.

Evaluasi Karakter Kuantitatif pada Populasi M1

Generasi M1 Brast-1 menunjukkan perubahan tinggi tanaman yang berbeda nyata lebih rendah dengan M0 setelah diberi perlakuan iradiasi sinar gamma dengan dosis yang semakin tinggi yaitu 110, 165, dan 220 (Tabel 1). Perubahan yang sama terjadi pada tanaman kedelai yang mengalami penurunan tinggi tanaman ketika mendapat perlakuan iradiasi dengan dosis yang semakin tinggi

Gambar 1. Kecenderungan pengaruh dosis iradiasi sinar gamma terhadap daya tumbuh genotipe Brast-1

(Hanafiah *et al.*, 2010a; Khan dan Tyagi, 2013). Demikian juga pada tanaman lain seperti kacang panjang, kunyit, iles-iles. Perlakuan iradiasi sinar gamma terhadap eksplan tanaman secara *in vitro* juga menunjukkan tinggi tunas yang berbanding terbalik dengan dosis yang diberikan seperti pada krisan (Maharani dan Khumaida, 2012).

Genotipe Brast-1 memiliki tipe pertumbuhan tegak dan tidak bersulur. Batang tersusun atas beberapa ruas buku. Jumlah buku pada tetua Brast-1 berjumlah 12 buku dan tidak berbeda nyata dengan rata-rata tanaman M1 pada dosis uji berbeda, yaitu 9-12 buku, seperti terlihat pada Tabel 1. Pengaruh iradiasi sinar gamma juga dilaporkan tidak berpengaruh nyata terhadap karakter jumlah buku produktif pada kedelai (Hanafiah *et al.*, 2010a).

Jumlah tandan bunga per tanaman M1 berkisar antara 10-12 tandan. Terdapat kecenderungan penurunan jumlah tandan bunga seiring dengan peningkatan dosis iradiasi sinar gamma, walaupun jumlah total tandan bunga M1 untuk setiap dosis uji tidak berbeda nyata dengan jumlah tandan bunga pada M0 (Tabel 1). Kecenderungan tersebut juga terjadi untuk karakter jumlah bunga. Akan tetapi, jumlah bunga yang berbeda nyata lebih rendah dari M0 dapat ditemukan pada tanaman di populasi M1 yang diberi

perlakuan sinar gamma 220 Gy (Tabel 1). Rata-rata bunga terbentuk disetiap tandan berjumlah 3-5 bunga.

Genotipe kacang merah M0 Brast-1 mulai berbunga pada umur 30 HST dan tidak berbeda nyata dengan tanaman yang mendapatkan perlakuan iradiasi 55, 110 dan 165 Gy. Tanaman yang mendapat perlakuan iradiasi sinar gamma 220 Gy berbeda sangat nyata lebih lama berbunga (± 6 hari) dari M0 (Tabel 2). Banyak faktor yang mempengaruhi pembungaan suatu tanaman baik internal maupun eksternal (Nurtjahjaningsih *et al.*, 2012). Beberapa aksesori kacang merah diketahui memiliki perbedaan umur berbunga yaitu berkisar antara 30-35 HST (Rizqiani *et al.*, 2007; Kristiani *et al.*, 2014).

Kacang merah Brast-1 dikonsumsi dalam bentuk biji kering. Oleh karena itu, pemanenan harus dilakukan setelah biji masak fisiologis sehingga biji tidak keriput. Kristiani *et al.* (2014) menyatakan bahwa masak fisiologis kacang merah terjadi pada 30 hari setelah berbunga (HSB) dengan masa penundaan waktu panen yang tepat sampai dengan 5 hari. Kacang merah dalam penelitian ini dipanen ketika berumur 63 HST (± 33 hari setelah berbunga) ditandai dengan warna polong yang berubah dari hijau menjadi kuning kecoklatan dan agak kering. Tidak terdapat perbedaan yang nyata antara

Tabel 1. Keragaan karakter tinggi tanaman, jumlah buku, jumlah tandan bunga dan jumlah bunga antara populasi M1 dan M0 genotipe Brast-1

Dosis (Gy)	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah buku	Jumlah tandan bunga	Jumlah bunga
0	31.19	12	13	51
55	29.41	12	12	55
110	26.41*	11	10	46
165	22.83**	11	10	42
220	16.00**	9	10	32*

Keterangan: * berbeda nyata terhadap M0 berdasarkan uji t pada taraf 5%, dan ** berbeda sangat nyata terhadap M0 berdasarkan uji t pada taraf 1%

Tabel 2. Keragaan umur berbunga dan umur panen antara populasi M1 dan M0 genotipe Brast-1

Dosis (Gy)	Umur berbunga (HST)	Umur panen (HST)
0	30	64
55	30	63
110	31	71**
165	31	67
220	36**	64

Keterangan: ** berbeda sangat nyata terhadap M0 berdasarkan uji t pada taraf 1%

umur M1 dosis 55, 165 dan 220 Gy. Waktu panen berbeda nyata lebih lama dari kontrol (M0) pada perlakuan iradiasi 110 Gy. Berdasarkan pengamatan di lapang, lamanya umur panen ini terjadi karena banyaknya bunga yang rontok. Hanafiah *et al.* (2010b) melaporkan tidak adanya hubungan linier antara pengaruh dosis iradiasi dengan umur panen kedelai.

Buah berkembang dari bunga yang berhasil melakukan pembuahan dengan sempurna dan tidak semua bunga menghasilkan polong. Beberapa diantaranya gugur sehingga jumlah polong per tanaman lebih sedikit dari jumlah bunga yang terbentuk. Jumlah polong per tanaman terlihat menurun dengan meningkatnya dosis iradiasi sinar gamma. Jumlah polong yang terbentuk pada perlakuan dosis 55, 110

dan 165 Gy tidak menunjukkan perbedaan dengan kontrol. Jumlah polong berbeda sangat nyata lebih rendah terdapat pada 220 Gy dengan kontrol (Tabel 3).

Akresi kacang merah Temanggung, Sleman dan Magelang dilaporkan memiliki bobot biji per tanaman 25.722-30.698 g ketika dipanen pada umur 35 HSB dan menunjukkan bobot yang lebih rendah ketika dipanen lebih awal (-5 HSB) dan lebih lama (+5 HSB) (Kristiani *et al.*, 2014). Bobot biji per tanaman M0 Brast-1 yang dipanen pada umur 30-34 HSB adalah 40.4 g. Bobot tersebut tidak berbeda nyata dengan bobot biji perlakuan iradiasi 55 dan 165 Gy. Perbedaan bobot nyata lebih rendah dengan M0 terdapat pada M1 dengan perlakuan 110 Gy dan sangat nyata lebih rendah pada perlakuan 220 Gy.

Bobot 100 butir biji kacang merah kering yang dipanen pada tanaman M1 dosis 55 Gy menghasilkan bobot yang berbeda nyata lebih tinggi dari M0. Keadaan yang sama dilaporkan Hanafiah *et al.* (2015) pada tanaman kedelai untuk dosis iradiasi 100 dan 200 Gy. Bobot yang sangat nyata lebih rendah terdapat pada tanaman yang mendapat perlakuan 220 Gy. Biji yang dipanen dari tanaman M1 adalah benih M2. Bobot 100 butir berkaitan dengan pengisian biji yang maksimal.

Evaluasi Karakter Kualitatif pada Populasi M1

Mutasi fisik dengan sinar gamma dilaporkan menyebabkan perubahan morfologi daun pada tanaman kedelai (Hanafiah *et al.*, 2010b) dengan reduksi tulang daun

Tabel 3. Keragaan karakter produksi kacang merah antara populasi M1 dan M0

Dosis (Gy)	Jumlah polong	Bobot biji per tanaman	Bobot 100 butir
0	44	40.40	39.39
55	35	40.50	45.00*
110	29	24.97*	42.67
165	33	34.50	38.32
220	25**	11.83**	32.67**

Keterangan: * berbeda nyata terhadap M0 berdasarkan uji t pada taraf 5%, dan ** berbeda sangat nyata terhadap M0 berdasarkan uji t pada taraf 1%

Gambar 2. Perubahan morfologi daun pada tanaman M1 Brast-1: helaian daun tidak sempurna (kiri dan tengah) dan dua anak daun dengan dua ujung pada salah satu daun (kanan)

sehingga helaian daun tidak sempurna. Gejala yang sama ditemukan pada beberapa tanaman M1 seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Selain helaian daun yang tidak sempurna, ditemukan juga tangkai daun yang hanya memiliki dua anak daun dengan helai daun yang memiliki dua ujung. Kacang merah umumnya memiliki tiga anak daun (*trifoliate*). Perubahan morfologi daun juga terjadi pada tanaman kunyit akibat iradiasi sinar gamma dengan dosis 50 dan 70 Gy (Anshori *et al.*, 2014).

Beberapa karakter yang menunjukkan perbedaan dengan karakter M0 adalah irisan melintang polong, warna dasar kulit biji, bentuk biji, dan irisan membujur bagian tengah biji (Tabel 4). Warna kulit biji Brast-1 hanya terdiri dari satu

warna yaitu ungu tua dan tanpa corak. Pada tanaman M1-55 Gy dan M1-110 Gy dipanen beberapa benih M2 dengan perubahan yang mencolok yaitu berwarna putih (Gambar 3). Tanaman kacang merah adalah tanaman menyerbuk sendiri dengan genetik yang terpelihara dalam keadaan homozigot sehingga turunan hasil penyerbukan sendiri tersebut akan selalu sama dengan tetuanya kecuali karena adanya mutasi. Siddiqui *et al.* (2009) menyatakan bahwa radikal bebas dalam sel tanaman yang dihasilkan oleh sinar gamma dapat menyebabkan perubahan sebagian morfologi, anatomi, biokimia, dan fisiologi tanaman yang dipengaruhi oleh level iradiasi sinar gamma tersebut.

Tabel 4. Keragaan karakter kualitatif antara tanaman M1 dan M0

No.	Karakter kualitatif	Dosis iradiasi (Gy)				
		0	55	110	165	220
1	Warna hipokotil	Hijau	Hijau	Hijau	Hijau	Hijau
2	Bentuk daun	Segitiga ke arah membulat	Segitiga ke arah membulat	Segitiga ke arah membulat	Segitiga ke arah membulat	Segitiga ke arah membulat
3	Tekstur daun	Kasar	Kasar	Kasar	Kasar	Kasar
4	Posisi tandan bunga	Diatas tajuk	Diatas tajuk	Diatas tajuk	Diatas tajuk	Diatas tajuk
5	Warna mahkota bunga	Merah muda	Merah muda	Merah muda	Merah muda	Merah muda
6	Irisan melintang polong	Bentuk jantung	Melingkar	Bentuk jantung	Bentuk jantung	Bentuk jantung
7	Warna dasar polong	Kuning	Kuning	Kuning	Kuning	Kuning
8	Warna corak polong	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
9	Warna dasar kulit biji	Ungu tua	Ungu tua, ungu muda, putih	Ungu tua, ungu muda, putih	Ungu tua, ungu muda	Ungu tua, ungu muda
10	Warna corak biji	Tidak ada corak	Tidak ada corak	Tidak ada corak	Tidak ada corak	Tidak ada corak
11	Bentuk biji	Bentuk ginjal	Elips	Elips	Elips	Elips
12	Irisan membujur bagian tengah biji	Bentuk ginjal	Elips	Elips	Elips	Elips
13	Warna hilum	Putih	Putih	Putih	Putih	Putih

Gambar 3. Perubahan warna biji M2 Brast-1 dibandingkan M0

KESIMPULAN

Induksi mutasi fisik melalui iradiasi sinar gamma pada biji genotipe Brast-1 menyebabkan beberapa perubahan karakter kuantitatif dan kualitatif pada generasi M1 dibandingkan terhadap M0. Perubahan yang positif untuk karakter kuantitatif ditemukan pada populasi M1-55 Gy (bobot 100 butir yang berbeda nyata dengan M0, potensi jumlah bunga yang lebih banyak, dan lebih genjah dari M0). Perubahan karakter kualitatif pada M1 ditandai dengan perubahan morfologi daun dan karakter polong. Perubahan secara acak karena pengaruh mutasi menyebabkan perubahan warna dasar kulit biji yang sangat berbeda dengan tetua (*wild type*).

SARAN

Perubahan positif yang terjadi pada M1 perlu diamati lebih lanjut pada generasi M2 sehingga dapat memverifikasi bahwa perubahan itu terjadi secara genetic atau bukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anshori, S.R., S.I. Aisyah, L.K. Darusman. 2014. Induksi mutasi fisik dengan iradiasi sinar gamma pada kunyit (*Curcuma domestica* Val.). J. Hort. Indonesia 5:84-94.
- Ditjen Hortikultura [Direktorat Jenderal Hortikultura]. 2016. Produksi kacang merah di Indonesia 2010-2014. <http://www.hortikultura.pertanian.go.id> [8 November 2016].
- Hameed A., T.M. Shah, B.M. 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. Pak. J. Bot. 40:1033-1041.
- Hanafiah D.S., Trikoesoemaningtyas, S. Yahya, D. Wirnas. 2010a. Studi radiosensitivitas kedelai (*Glycine max* [L] Merr.) varietas Agromulyo melalui iradiasi sinar gamma. Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik 12:105-111.
- Hanafiah, D.S., R.R. Lahay, I.B. Sibarani. 2015. Respon morfologi tanaman kedelai (*Glycine max* [L] Merrill) varietas Anjasmoro terhadap beberapa iradiasi sinar gamma. Jurnal Online Agroekoteknologi 3:515-526.
- Hanafiah, D.S., Trikoesoemaningtyas, S. Yahya, D. Wirnas. 2010b. Induced mutation by gamma irradiation to Agromulyo soybean (*Glycine max*) variety. Bioscience. 2:121-125.
- Kementan BPPSDMP [Kementerian Pertanian Badan Penyuluhan dan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pertanian]. 2016. Budidaya tanaman kacang merah. [http://cybex.pertanian.go.id/materilokalita/detail/9644/budidaya-tanaman kacang merah](http://cybex.pertanian.go.id/materilokalita/detail/9644/budidaya-tanaman-kacang-merah) [8 November 2016].
- Khan, M.H., S.D. Tyagi. 2013. A review on induced mutagenesis in soybeans. Academic Journals 4:19-25.
- Kon, E., O.H. Ahmed, S. Saamin. 2007. Gamma radiosensitivity on long bean (*Vigna sesquipedalis*). Am. J. Appl. Sci. 4:1090-1093.
- Kristiani, S., Toekidjo, S. Purwanti. 2014. Kualitas benih tiga aksesori kacang merah pada tiga umur panen. Vegetalika. 3: 63-77.
- Maharani, S., N. Khumaida. 2013. Induksi keragaman dan karakterisasi dua varietas krisan (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev) dengan iradiasi sinar gamma secara in vitro. J. Hort. Indonesia 4:34-43.
- Moghaddam, S.S., H. Jaafar, R. Ibrahim, A. Rahmat, M.A. Aziz, E. Philip. 2011. Effect of acute gamma irradiation on physiological traits and flavonoid accumulation of *Centella asiatica*. Molecules 16:4994-5007.
- Nurtjahjaningsih, I.L.G., A.Y.P.B.C. Widyatmoko, P. Sulistyawati, A. Rimbawanto. 2012. Screening penanda mikrosatelit Shorea curtisii terhadap jenis-jenis Shorea penghasil tengkawang. J. Pemuliaan Tanaman Hutan 6: 49-56.
- PPVT [Pusat Perlindungan Varietas Tanaman]. 2007. Panduan Pengujian Individual Tanaman Buncis. Departemen Pertanian Republik Indonesia. Pusat Perlindungan Varietas Tanaman, Jakarta.
- Rizqiani, N.E., E. Ambarwati, N.W. Yuwono. 2007. Pengaruh dosis dan frekuensi pemberian pupuk organik cair terhadap pertumbuhan dan hasil buncis (*Phaseolus vulgaris* L.) dataran rendah. J. Ilmu Tanah dan Lingkungan 7: 43-53.
- Santosa, E., S. Pramono, Y. Mine, N. Sugiyama. 2014. Gamma irradiation and development of *Amorphophallus muelleri* Blume. J. Agron. Indonesia 42:118-124.
- Sembiring, P.I. 2016. Karakterisasi morfologi genotipe M1 kacang merah (*Phaseolus vulgaris* L.) di dataran rendah. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Shah, T.M., J.I. Mirza, M.A. Haq, B.M. Atta. 2008. Radiosensitivity of various Chickpea genotypes in M₁ generation. Pak. J. Bot. 40:649-665.
- Siddiqui, M.A, I.A. Khan, A. Khatri. 2009. Induced quantitative variability by gamma rays and ethylmethane sulphonate alone and in combination in rapeseed (*Brassica napus* L.). Pak. J. Bot. 41:1189-1995.
- Sumpena, U., Y. Kusandriani, Lutfhi. 2013. Uji daya hasil sembilan galur harapan kacang merah di Jawa Barat. J. Agrotropika 18: 12-15.