

Komponen Produksi Kedelai Generasi M3 Akibat Mutasi Induksi di Tanah Salin

Production of Soybean M3 Generation Affected by Induced Mutation at Saline Soil

Florentina Kusmiyati^{1*)}, Sutarno Sutarno¹, B. Herwibawa¹

¹Departemen Pertanian, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang,
Jawa Tengah 50275

^{*)}Penulis untuk korespondensi: fkusmiyati@yahoo.co.id

Sitasi: Kusmiyati F, Sutarno S, Herbawa B. 2019. Production of soybean M3 generation affected by induced mutation at saline soil. *In: Herlinda S et al. (Eds.), Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal 2019, Palembang 4-5 September 2019.* pp. 392-399. Palembang: Unsri Press.

ABSTRACT

Breeding for tolerance soybean at saline soil can be carried through induced mutation. The present study was undertaken to evaluate the effect of induced mutation by gamma rays on soybean production at third generation (M3) in saline soil. The study was conducted at saline soil in Rembang Regency – Central Java. The materials were soybean at control treatment (0 Gy) and thirteen genotypes of third generation (M3) induced mutation by gamma rays (208 Gy, 256 Gy, 352 Gy, 400 Gy, 448 Gy, 496 Gy, 592 Gy). Parameter measured were number of pod, pod weight and number of seed. The result based on T-test showed that genotype of BSMG-02-208-8, BSMG-02-208-9, BSMG-02-352-2, BSMG-02-448-5, BSMG-02-448-7, BSMG-02-592-9 had number of pod significantly different than at control treatment. Pod number of BSMG-02-208-8 was higher than at control. Pod weight of BSMG-02-208-8, BSMG-02-352-2, BSMG-02-448-7, BSMG-02-448-10, BSMG-02-496-2, BSMG-02-592-9 were significantly different than at control treatment. Pod weight of BSMG-02-208-8 was heavier than at control. Genotypes of BSMG-02-208-8, BSMG-02-256-7, BSMG-02-256-10, BSMG-02-352-2, BSMG-02-448-3, BSMG-02-448-5, BSMG-02-448-7, BSMG-02-448-9, BSMG-02-496-2 dan BSMG-02-592-9 were significantly different than at control treatment. The conclusion was genotype BSMG-02-208-8 can be used for soybean tolerance breeding at saline soil for next generation.

Keywords: gamma rays, number of pod, pod weight, seed number, tolerance

ABSTRAK

Perakitan kedelai yang toleran pada tanah salin dapat dilakukan melalui mutasi secara induksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji komponen produksi kedelai generasi M3 hasil mutasi induksi dengan sinar gamma pada tanah salin. Penelitian dilaksanakan di tanah salin Kabupaten Rembang – Jawa Tengah. Materi penelitian adalah tanaman kontrol (0 Gy) dan 15 genotipe kedelai generasi M₃ hasil mutasi induksi dengan sinar gamma pada dosis 208 Gy, 256 Gy, 352 Gy, 400 Gy, 448 Gy, 496 Gy, 592 Gy. Parameter pengamatan adalah jumlah polong, bobot polong dan jumlah biji kedelai. Hasil uji T-test menunjukkan jumlah polong genotipe BSMG-02-208-8, BSMG-02-208-9, BSMG-02-352-2, BSMG-02-448-5, BSMG-02-448-7, BSMG-02-592-9 berbeda nyata dengan kontrol (0 Gy). Jumlah polong genotipe BSMG-02-208-8 nyata lebih besar daripada kontrol. Bobot polong genotipe BSMG-02-208-8, BSMG-02-352-2, BSMG-02-448-7, BSMG-02-448-10,

BSMG-02-496-2 dan BSMG-02-92-9 berbeda nyata dengan kontrol. Bobot polong genotipe BSMG-02- 208-8 nyata lebih besar daripada kontrol. Pada jumlah biji, genotipe yang berbeda nyata dengan kontrol adalah BSMG-02-208-8, BSMG-02-256-7, BSMG-02-256-10, BSMG-02-352-2, BSMG-02-448-3, BSMG-02-448-5, BSMG-02-448-7, BSMG-02-448-9, BSMG-02-496-2 dan BSMG-02-592-9. Kesimpulan adalah genotipe BSMG-02-208-8 dapat digunakan untuk kegiatan perakitan tanaman kedelai toleran pada tanah salin untuk generasi selanjutnya.

Kata kunci: bobot biji, bobot polong, jumlah polong, sinar gamma, toleran

PENDAHULUAN

Dalam rangka mencapai swasembada kedelai, maka peningkatan produktivitas kedelai di lahan-lahan marginal antara lain tanah salin perlu terus diupayakan. Pengaruh salinitas pada tanaman terlihat sebagai hasil interaksi kompleks antara sifat morfologi, biokimia dan proses fisiologi yang menyebabkan toksisitas ion, cekaman osmotik, defisiensi nutrisi dan cekaman oksidatif pada tanaman, dan kemudian membatasi penyerapan air dari tanah (Shrivastava dan Kumar, 2015; Tavakkoli *et al.*, 2010; Guan *et al.*, 2014). Perbaikan produktivitas kedelai di tanah salin dapat diupayakan melalui persilangan kedelai tahan salin (Xu dan Tuyen, 2012), meskipun keragaman alami yang tersedia seringkali menjadi pembatas dalam penentuan tetua persilangan (Hanafiah *et al.*, 2010). Namun, perlakuan induksi mutasi dilaporkan mampu meningkatkan keragaman kedelai (Ahire dan Auti, 2015), dan memiliki potensi untuk meningkatkan ketahanan terhadap salinitas (Kusmiyati dan Herwibawa, 2016).

Mutasi merupakan suatu proses perubahan struktur pada materi genetik yang mengakibatkan perubahan kenampakan fenotipe yang diturunkan dan dapat terjadi secara alami maupun dengan induksi (Crowder, 2010). Mutasi secara induksi dapat dikelompokkan menjadi dua berdasarkan bahan mutagen yang digunakan yaitu mutagen kimia (*ethyl methane sulphonate* atau EMS, *diethyl sulphate*/DES, *methyl methane sulphonate*/MMS) dan mutagen fisik (sinar gamma, sinar X, sinar beta) (Sibarani *et al.*, 2015). Perubahan sifat menguntungkan hasil mutasi induksi dengan capaian penurunan viabilitas minimal dan peningkatan variasi genetik maksimal, akan membantu pemulia untuk mendapatkan karakter-karakter yang sulit dimuliakan (Sikora *et al.*, 2011).

Pemuliaan tanaman melalui mutasi induksi dengan iradiasi sinar gamma dapat memperbaiki sifat morfologi hingga genetik sehingga dapat menghasilkan varietas unggul dengan produksi tinggi yang toleran terhadap kondisi lingkungan, salah satunya toleran terhadap tanah marginal (Giono *et al.*, 2014).

Daya tumbuh kedelai menurun dengan meningkatnya radiasi sinar gamma dengan dosis 200, 250, 300, 350, 400 dan 1000 Gy (Warid *et al.*, 2017). Sibarani *et al.*, (2015) melaporkan kedelai varietas Anjasmoro yang mendapat perlakuan radiasi sinar gamma 100 Gy dan 200 Gy menunjukkan peningkatan jumlah polong isi, jumlah biji dan bobot biji. Iradiasi sinar gamma dengan dosis 100 Gy dan 200 Gy pada 4 tanaman kedelai varietas Anjasmoro menyebabkan munculnya karakter unik yaitu adanya polong berisi 4 biji.

Luas lahan salin di Indonesia dilaporkan 13,2 juta ha (Abrol *et al.*, 1988). Lahan salin tersebut merupakan potensi untuk penanaman kedelai dalam usaha memenuhi kebutuhan kedelai dalam negeri. Perakitan tanaman kedelai toleran pada lahan salin perlu diupayakan untuk dapat memanfaatkan lahan salin tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji komponen produksi kedelai generasi M₃ hasil mutasi induksi dengan sinar gamma pada tanah salin.

BAHAN DAN METODE

Materi penelitian adalah tanaman kontrol (0 Gy) dan 15 genotipe kedelai generasi M₃ hasil mutasi induksi dengan sinar gamma. Mutagenesis dilakukan pada benih kedelai varietas Detam dari Balai Penelitian Aneka Kacang dan Umbi (Balitkabi)–Malang. Irradiasi benih kedelai dilakukan pada dosis pada dosis 0 Gy (kontrol), 160 Gy, 208 Gy, 256 Gy, 304 Gy, 352 Gy, 400 Gy, 448 Gy, 496 Gy, 544 Gy dan 592 Gy. Induksi mutasi dengan sinar gamma dilakukan di Pusat Aplikasi Isotop Radiasi–Badan Tenaga Atom Nasional (PAIR–BATAN). Benih kedelai tersebut ditanam pada tanah salin dengan daya hantar listrik (DHL) 4.3 dS/m sebagai generasi pertama (M₁). Pada M₁, tanaman kedelai pada perlakuan dosis iradiasi 544 Gy mati semua.

Pada generasi M₂, benih dari delapan genotype kedelai dari generasi M₁ ditanam pada lahan non salin. Seleksi pada M₂ dilakukan berdasarkan produksi tanaman. Genotype yang terpilih untuk generasi M₃ sebanyak 15 yaitu BSMG-02-256-7, BSMG-02-448-9, BSMG-02-448-5, BSMG-02-448-8, BSMG-02-448-10, BSMG-02-256-10, BSMG-02-352-2, BSMG-02-208-8, BSMG-02-496-2, BSMG-02-448-3, BSMG-02-448-7, BSMG-02-208-9, BSMG-02-400-3, BSMG-02-400-4 dan BSMG-02-592-9.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) monofaktor 15 genotip dan 1 kontrol dengan 40 tanaman setiap genotip. Percobaan dilakukan pada tanah salin di Kecamatan Kaliore–Kabupaten Rembang–Jawa Tengah. Penanaman dilakukan pada bedengan dengan ukuran 0,3m x 10m, jarak tanam dalam bedeng adalah 20 cm. Pemupukan dilakukan sesuai dosis rekomendasi. Parameter yang diamati adalah jumlah polong, bobot polong dan jumlah biji kedelai. Pengamatan parameter dilakukan pada semua tanaman yang hidup.

Data yang diperoleh kemudian dilakukan perhitungan koefisien keragaman (KK) atau *coefficient of varians* (CV) dan dianalisis uji beda dengan menggunakan uji T independen dengan uji 2 arah (*two tailed test*) pada taraf $\alpha/2=2,5\%$. Uji T untuk varian yang sama (*equal variance*) menggunakan rumus manual *polled varians* sebagai berikut :

$$\text{Thitung} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Uji T untuk varian yang berbeda (*unequal variance*) menggunakan rumus manual *separated varians* sebagai berikut :

$$\text{Thitung} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Keterangan:

- \bar{X}_1 = Rata-rata sampel 1 (genotip kontrol)
- \bar{X}_2 = Rata-rata sampel 2
- n_1 = Jumlah sampel 1 (genotip kontrol)
- n_2 = Jumlah sampel 2
- S_1^2 = Varian sampel 1 (genotip kontrol)
- S_2^2 = Varian sampel 2

HASIL

Hasil uji T independen (*two tailed test*) terhadap jumlah polong kedelai Detam generasi M₃ dengan tanaman kontrol/tanpa mutasi (0Gy) ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil uji T independen (*two tailed test*) terhadap jumlah polong kedelai Detam generasi M₃ terlihat bahwa yang menunjukkan adanya perbedaan dengan tanaman kontrol adalah genotipe BSMG-02-208-8, BSMG-02-208-9, BSMG-02-352-2, BSMG-02-448-5, BSMG-02-448-7 dan BSMG-02-592-9. Genotipe BSMG-02-208-8 dan BSMG-02-496-2 memiliki jumlah polong lebih banyak dibandingkan tanaman kontrol, sedangkan 4 genotip yang lain memiliki jumlah polong yang nyata lebih rendah dibandingkan tanaman kontrol. Keragaman jumlah polong yang luas pada semua genotipe ditunjukkan berdasarkan nilai *coefficient of varians* (CV) atau koefisien keragaman yang memiliki nilai lebih dari 20%.

Tabel 1. Jumlah polong kedelai detam hasil mutasi iradiasi sinar gamma generasi M₃

Genotipe	Jumlah Polong/Tanaman	CV (%)	Signifikansi
Kontrol (0 Gy)	118,0±37,9	32,1	
BSMG-02-208-8	201,8±63,2	31,3	*
BSMG-02-208-9	36,5±27,6	75,6	*
BSMG-02-256-7	106,1±47,6	44,8	ns
BSMG-02-256-10	121,8±42,8	35,2	ns
BSMG-02-352-2	42,0±31,6	75,2	*
BSMG-02-400-3	107,1±39,9	37,2	ns
BSMG-02-448-3	98,0±45,6	46,6	ns
BSMG-02-448-5	88,5±51,9	58,7	*
BSMG-02-448-7	55,3±30,9	55,9	*
BSMG-02-448-9	112,5±50,2	44,6	ns
BSMG-02-448-10	140,4±73,4	52,3	ns
BSMG-02-496-2	104,6±37,7	36,0	ns
BSMG-02-592-9	64,1±36,2	56,5	*

Keterangan: notasi *menyatakan berbeda nyata, ns menyatakan tidak berbeda nyata pada taraf 5% berdasarkan uji T independen dibandingkan dengan tanaman kontrol (tanpa mutasi/0 Gy)

Tabel 2. Bobot polong kedelai detam (g/tanaman) hasil mutasi iradiasi sinar gamma generasi M₃

Genotipe	Berat Polong/Tanaman	CV (%)	Signifikansi
Kontrol (0 Gy)	11,5±3,9	33,9	
BSMG-02-208-8	18,3±5,4	29,7	*
BSMG-02-208-9	6,2±5,0	79,8	ns
BSMG-02-256-7	10,3±4,9	47,9	ns
BSMG-02-256-10	11,9±4,2	35,3	ns
BSMG-02-352-2	6,2±3,7	60,4	*
BSMG-02-400-3	10,8±4,0	36,8	ns
BSMG-02-448-3	10,9±5,0	46,0	ns
BSMG-02-448-5	10,0±5,7	57,3	ns
BSMG-02-448-7	5,5±3,7	68,0	*
BSMG-02-448-9	11,0±5,8	52,5	ns
BSMG-02-448-10	14,3±8,3	58,3	*
BSMG-02-496-2	9,6±3,3	34,0	*
BSMG-02-592-9	6,2±2,8	45,4	*

Keterangan: notasi * menyatakan berbeda nyata, ns menyatakan tidak berbeda nyata pada taraf 5% berdasarkan uji T independen dibandingkan dengan tanaman kontrol (tanpa mutasi/0 Gy)

Hasil uji T independen (*two tailed test*) terhadap bobot polong kedelai Detam generasi M₃ dengan tanaman kontrol/tanpa mutasi (0 Gy) ditunjukkan pada Tabel 2. Berdasarkan hasil uji T independen (*two tailed test*) terhadap bobot polong kedelai Detam generasi M₃

terlihat bahwa yang menunjukkan adanya perbedaan dengan tanaman kontrol adalah genotipe BSMG-02-208-8, BSMG-02-352-2, BSMG-02-448-7, BSMG-02-448-10, BSMG-02-496-2 dan BSMG-02-592-9. Genotipe BSMG-02-208-8 dan BSMG-02-448-10 memiliki bobot polong lebih berat dibandingkan tanaman kontrol, sedangkan 4 genotip yang lain memiliki bobot polong yang nyata lebih rendah dibandingkan tanaman kontrol. Keragaman bobot polong yang luas pada semua genotipe ditunjukkan berdasarkan nilai *coefficient of varians* (CV) atau koefisien keragaman yang memiliki nilai lebih dari 20%.

Hasil uji T independen (*two tailed test*) terhadap jumlah biji kedelai Detam generasi M₃ dengan tanaman kontrol/tanpa mutasi (0 Gy) ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah biji kedelai detam hasil mutasi iradiasi sinar gamma generasi M₃

Genotipe	Jumlah Biji/Tanaman	CV (%)	Signifikansi
Kontrol (0 Gy)	90,5±39,48,0	43,6	
BSMG-02-208-8	52,2±36,7	70,3	*
BSMG-02-208-9	69,0±67,2	95,3	ns
BSMG-02-256-7	40,8±33,5	82,2	*
BSMG-02-256-10	46,2±34,8	75,3	*
BSMG-02-352-2	36,4±27,5	75,6	*
BSMG-02-400-3	76,1±37,4	49,2	ns
BSMG-02-448-3	57,6±25,6	44,4	*
BSMG-02-448-5	58,2±51,2	88,0	*
BSMG-02-448-7	40,8±34,8	85,2	*
BSMG-02-448-9	32,5±28,0	86,1	*
BSMG-02-448-10	79,1±57,8	73,1	ns
BSMG-02-496-2	46,6±25,0	53,7	*
BSMG-02-592-9	36,2±19,8	54,8	*

Keterangan: notasi * menyatakan berbeda nyata, ns menyatakan tidak berbeda nyata pada taraf 5% berdasarkan uji T independen dibandingkan dengan tanaman kontrol (tanpa mutasi/0 Gy)

Berdasarkan hasil uji T independen (*two tailed test*) terhadap jumlah biji kedelai Detam generasi M₃ terlihat bahwa yang menunjukkan adanya perbedaan dengan tanaman kontrol adalah genotipe BSMG-02-208-8, BSMG-02-256-7, BSMG-02-256-10, BSMG-02-352-2, BSMG-02-448-3, BSMG-02-448-5, BSMG-02-448-7, BSMG-02-448-9, BSMG-02-496-2 dan BSMG-02-592-9. Kesepuluh genotip tersebut memiliki jumlah biji yang nyata lebih rendah dibandingkan tanaman kontrol. Keragaman bobot polong yang luas pada semua genotipe ditunjukkan berdasarkan nilai *coefficient of varians* (CV) atau koefisien keragaman yang memiliki nilai lebih dari 20%.

PEMBAHASAN

Genotipe BSMG-02-208-8 dan BSMG-02-496-2 memiliki jumlah polong nyata lebih banyak dibandingkan tanaman kontrol. Genotipe BSMG-02-208-8 dan BSMG-02-448-10 memiliki bobot polong nyata lebih berat dibandingkan tanaman kontrol. Jumlah dan bobot polong genotipe BSMG-02-208-8 dapat meningkat diduga karena adanya peningkatan kemampuan tanaman dalam distribusi asimilat sehingga pengisian biji dapat optimal. Genotipe BSMG-02-208-8 merupakan mutan kedelai dengan perlakuan dosis iradiasi sinar gamma 208 Gy. Hasil penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian Sibarani *et al.*, (2015) yang melakukan iradiasi sinar gamma dengan dosis 100 Gy dan 200 Gy pada beberapa tanaman kedelai varietas Anjasmoro. Jumlah polong isi, jumlah biji, dan bobot biji kedelai varietas Anjasmoro meningkat pada dosis iradiasi 100 Gy dan 200 Gy pada beberapa tanaman kedelai varietas Anjasmoro dapat meningkatkan parameter jumlah polong isi, jumlah biji, dan bobot biji. Alka dan Khan (2011) menyatakan bahwa tanaman

yang diberikan induksi mutasi dapat menyebabkan adanya peningkatan aktivitas metabolisme dan pemacu pertumbuhan.

Induksi mutasi pada tanaman memberikan pengaruh yang berbeda antar tanaman dan sifatnya acak serta tidak dapat diarahkan. Sinar gamma adalah agen mutagenik yang efektif. Klasifikasi mutasi berdasarkan tingkat urutan DNA yang dipengaruhi oleh peristiwa mutasi adalah mutasi skala kecil/mutasi titik dan mutasi skala besar. Mutasi skala kecil melibatkan satu atau beberapa nukleotida seperti mutasi titik, penyisipan, dan penghapusan DNA. Sementara, mutasi skala besar mempengaruhi struktur kromosom termasuk inversi dan duplikasi gen (Lee *et al.*, 2011).

Dosis radiasi yang berbeda akan memberikan pengaruh yang berbeda pada tanaman. Genotipe BSMG-02-208-8, BSMG-02-256-7, BSMG-02-256-10, BSMG-02-352-2, BSMG-02-448-3, BSMG-02-448-5, BSMG-02-448-7, BSMG-02-448-9, BSMG-02-496-2 dan BSMG-02-592-9 memiliki jumlah biji yang lebih rendah dibandingkan tanaman kontrol (0 Gy). Jumlah biji yang rendah tersebut diduga adanya efek mutasi yang mengaibatkan kegagalan dalam pemebentukan polong dan biji. Iradiasi sinar gamma mengakibatkan kerusakan pada DNA maupun sel tanaman sehingga berpengaruh pada metabolisme tanaman. Widayati (2012) menyatakan Hal tersebut diduga adanya efek mutasi yang mengakibatkan kegagalan dalam pembentukan polong. Kegagalan dalam pembentukan polong dapat disebabkan karena adanya kerusakan pada DNA maupun sel tanaman akibat paparan sinar gamma sehingga berpengaruh pada metabolisme tanaman. Widayati (2012) menyatakan bahwa radiasi akibat penyinaran merupakan sumber pembentukan *reactive oxygen spesies* (ROS) yang menyebabkan radikal oksigen (superoksida) yang terbentuk di dalam mitokondria dikonversi menjadi hydrogen peroksida yang kemudian menyebar dan dikonversi menjadi radikal OH yang bersifat mutagenik. Sibarani (2015) menyatakan bahwa iradiasi sinar gamma dengan dosis 100 Gy dan 200 Gy pada beberapa tanaman kedelai varietas Anjasmoro dapat meningkatkan parameter jumlah polong isi sedangkan pada dosis 300 Gy terdapat tanaman dengan penurunan jumlah polong isi di bawah rata-rata kontrol.

Induksi mutasi merupakan salah satu cara untuk meningkatkan keragaman genetik yang merupakan modal awal bagi pemulia dalam usahanya merakit tanaman. Keragaman genetik tanaman kedelai generasi 3 (MV₃) masih tinggi. Hal tersebut ditunjukkan dari tingginya *coefficient of varians* (CV) atau koefisien keragaman yang memiliki nilai lebih dari 20%. Hasil penelitian Hanafiah *et al.*, (2010) menunjukkan bahwa perlakuan iradiasi sinar gamma dapat mempengaruhi produksi tanaman dan pada tanaman generasi M₂ perlakuan dosis 200 Gy memperlihatkan variasi fenotipe tertinggi dan efektif menyebabkan terjadinya keragaman genetik.

Jumlah polong dan bobot polong genotipe BSMG-02-208-8 lebih tinggi dibandingkan kontrol. Koefisien keragaman (CV) genotip tersebut untuk karakter jumlah polong dan bobot polong juga termasuk rendah yaitu 31 % untuk karakter jumlah polong dan 30 % untuk bobot polong. Genotip BSMG-02-208-8 dapat menjadi kandidat untuk kegiatan perakitan kedelai yang toleran pada tanah salin.

KESIMPULAN

Induksi mutasi dengan iradiasi sinar gamma dapat meningkatkan keragaman jumlah polong, bobot polong dan jumlah biji kedelai varietas Detam 3 generasi 3 (MV₃) yang ditanam di tanah salin. Genotipe BSMG-02-208-8 dapat digunakan untuk kegiatan perakitan tanaman kedelai toleran pada tanah salin untuk generasi selanjutnya

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas dana yang diberikan melalui skim Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi tahun 2017-2019. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Diponegoro.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrol IP, Yadav JSV, Massaud FI. 1988. *Salt-Affected Soil and Their Management*. FAO, Rome.
- Ahire D, Auti S. 2015. Effect of chemical and physical mutagen in M1 generation and chlorophyll mutations in soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Int. J. Bioassayas*. 4:4235-4240.
- Alka, Khan S. 2011. Induced variation in quantitative traits due to chemical mutagen (hydrazine hydrate) treatment in lentil (*Lens culinaris* Medik.). *J. Indian Streams Research*. 1:1-11.
- Crowder LV. 2010. *Genetika Tumbuhan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Giono BRD, Farid M, Nur A, Solle MS, Idrus I. 2014. Ketahanan genotipe kedelai terhadap kekeringan dan kemasaman hasil induksi mutasi dengan sinar gamma. *J. Agroteknos*. 4:44 -52.
- Guan R, Qu Y, Guo Y, Yu L, Liu Y, Jiang J, Chen Y, Ren Y, Liu G, Tian L, Jin L, Liu Z, Hong H, Chang R, Gilliam, Qiu L. 2014. Salinity tolerance in soybean is modulated by natural variation in GmSALT3. *The Plant Journal*. 80:937-950.
- Hanafiah DS, Trikoesoemaningtyas, Yahya S, Wurnas D. 2010. Induced mutations by gamma ray irradiation to Argomulyo soybean (*Glycine max*) variety. *J. Bioscience*. 2:121 – 125.
- Kusmiyati F, Herwibawa B, 2016. Sensitivitas benih dan penampilan agronomi kedelai varietas gema terhadap mutagen natrium azida pada cekaman salin. *Prosiding Seminar Nasional Perkumpulan Agroteknologi/Agroekoteknologi Indonesia*; Surakarta, 21 Juli 2016. p. 163-166.
- Lee S, Costanzo S, Jia Y. 2011. *Plant Mutation Breeding and Biotechnology*. ed Q Y Shu., B P Forster and H Nakagawa (UK : Cabi). p. 38-39.
- Shrivastava P, Kumar R. 2015. Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi J. Biol. Sci*. 22:123-131.
- Sibarani IB, Lahay RR, Hanafiah DS. 2015. Respon morfologi tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) varietas anjasmoro terhadap beberapa iradiasi sinar gamma. *J. Online Agroekoteknologi*. 3:515-526.
- Sikora P, Chawade A, Larsson M, Olsson J, Olsson O. 2011. Mutagenesis as a tool in plant genetics, functional genomics, and breeding. *Int. J. Plant Genomics* 2011, Article ID 314829.
- Tavakkoli E, Rengasamy P, McDonald GK. 2010. High concentrations of Na⁺ and Cl⁻ ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. *J. Exp. Bot*. 61:4449-4459.
- Warid, Khumaida N, Purwito A, Syukur M. 2017. Pengaruh iradiasi sinar gamma pada generasi pertama (M1) untuk mendapatkan genotipe unggul baru kedelai toleran kekeringan. *J. Agrotrop*. 7:11-21.

- Widayati E. 2012. Oxidasi biologi, radikal bebas, dan antioxidant. *J. Majalah Ilmiah Sultan Agung*. 50:26-3.
- Xu D, Tuyen DD. 2012. Genetic studies on saline and sodic tolerances in soybean. *Breeding Sci*. 61:559-565.