

Upaya Peningkatan Keragaman Kedelai Kipas Merah melalui Iradiasi Sinar Gamma

Efforts to Increase the Diversity of Kipas Merah Soybeans through Gamma Ray Irradiation

Zuyasna¹, Chairunnas², Efendi¹ dan Arwin³

¹Jurusan Agroteknologi, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

²Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Aceh

³Badan Tenaga Nuklir Nasional (Batan)

Email Korespondensi: zuyasna@unsyiah.ac.id

ABSTRAK

Keanekaragaman genetik tanaman memiliki arti penting dalam program pemuliaan tanaman. Keanekaragaman genetik yang tinggi memungkinkan pemulia untuk memilih genotipe tanaman sesuai dengan tujuan pemuliaan yang diinginkan. Salah satu upaya untuk meningkatkan keragaman adalah melalui teknik induksi mutasi. Telah dilakukan penelitian untuk meningkatkan keanekaragaman kedelai Kipas Merah dengan menggunakan iradiasi sinar gamma. Radiasi dilakukan pada benih kedelai Kipas Merah hasil seleksi galur murni menggunakan taraf iradiasi 100-1000 Gy di Batan. Galur Kipas merah murni yang telah disinari, ditanam pada lahan kering sesuai petunjuk teknis budidaya kedelai dan dibiarkan melakukan penyerbukan sendiri. Selanjutnya, setelah masak fisiologis, benih dipanen dan dikeringkan untuk mendapatkan populasi benih M₁ suksesi Aceh. Semua tanaman mutan yang tumbuh dievaluasi untuk karakteristik morfologi dan hasil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keragaman tertinggi terdapat pada taraf iradiasi 200-300 Gy. Iradiasi sinar gamma dapat menginduksi keragaman genetik kedelai Kipas Merah yang ditunjukkan dengan variasi bentuk batang, daun dan hasil. Semakin tinggi tingkat penyinaran, semakin tinggi pula tingkat kerusakan sel dan jaringan, bahkan mengakibatkan kematian. Kedelai mutan generasi pertama (M₁) Kipas Merah berpotensi menghasilkan galur dengan hasil lebih tinggi dari tanaman aslinya dan memungkinkan pemilihan karakter baru seperti toleran kekeringan, tahan penyakit, dan hasil tinggi. Perlu dilakukan seleksi generasi M₂, M₃, dan M₄ pada galur terpilih untuk karakter toleran kekeringan dan produksi tinggi.

Kata kunci: *keragaman genetik, mutagen, mutasi, pemuliaan tanaman*

ABSTRACT

Plant genetic diversity has an important meaning in plant breeding programs. High genetic diversity allows breeders to select plant genotypes according to the desired breeding objectives. One of the efforts to increase diversity is through mutation induction techniques. Research has been carried out to increase the diversity of Kipas Merah soybean by using gamma ray irradiation. Radiation carried out on pure line of Kipas Merah soybean seeds with irradiation level of 100-1000 Gy in Batan. The irradiated of pure line Kipas Merah planted on dry land according to the technical instructions for soybean cultivation and allowed to self-pollinate. Furthermore, after physiological maturity, the seeds were harvested and dried to obtain the Aceh succession M₁ seed population. All the growing mutant plants were evaluated for morphological characteristics and yields. The results showed that the highest diversity was at the irradiation level of 200-300 Gy. Gamma ray irradiation can induce genetic diversity of Kipas Merah soybean indicated by variations in stem shape, leaf and yield. The higher the level of irradiation, the higher the level of cell and tissue damage, even resulting in death. The first generation mutant (M₁) Kipas Merah soybean has the potential to produce a line with a higher yield than the original plant and allows selection of new characters such as drought tolerance, disease resistance, and high yield. It is necessary to select the M₂, M₃, and M₄ generations on selected lines for drought tolerant characters and high production.

Keywords: *genetic diversity, mutagen, mutation, plant breeding*

PENDAHULUAN

Pemuliaan tanaman merupakan salah satu proses penting yang perlu diperhatikan dalam usaha peningkatan produksi tanaman kedelai. Pemilihan varietas juga memegang peranan penting dalam budidaya kedelai, karena untuk mencapai taraf produktivitas yang tinggi sangat ditentukan oleh potensi genetiknya (Sleper dan Poehlman, 2006). Oleh sebab itu peningkatan keragaman genetik suatu tanaman perlu dilakukan dalam upaya mencari sifat-sifat yang diinginkan.

Keragaman genetik tanaman memiliki arti penting dalam program pemuliaan tanaman. Keragaman genetik yang tinggi memungkinkan pemulia melakukan seleksi genotipe tanaman sesuai dengan tujuan pemuliaan yang dikehendaki. Salah satu upaya peningkatan keragaman adalah melalui teknik induksi mutasi. Induksi mutasi dapat dilakukan pada tanaman dengan perlakuan bahan mutagen tertentu terhadap organ reproduksi tanaman seperti biji, setek batang, serbuk sari, akar rhizome, dan sebagainya. Ada dua jenis bahan mutagen, yaitu mutagen kimia dan mutagen fisika. Mutagen kimia pada umumnya berasal dari senyawa kimia yang memiliki gugus alkil, seperti etil metan sulfonat (EMS), dietil sulfat (DES), metil metan sulfonat (MMS), hidrosil amina, dan *nitrous acid*. Mutagen fisika bersifat sebagai iradiasi pengion (*ionizing radiation*) dan termasuk diantaranya adalah sinar-X, iradiasi gamma, iradiasi beta, neutrons, dan partikel dari aselerators. Perubahan yang terjadi pada materi genetik dikenal dengan istilah mutasi (Oladosu Y., 2016).

Secara relatif, proses mutasi dapat menimbulkan perubahan pada sifat-sifat genetis tanaman baik ke arah positif maupun negatif, dan kemungkinan mutasi yang terjadi dapat juga kembali normal (*recovery*). Mutasi yang terjadi ke arah "sifat positif" dan terwariskan (*heritable*) ke generasi berikutnya merupakan mutasi yang dikehendaki oleh pemulia tanaman pada umumnya.

Berbeda dengan pemuliaan melalui persilangan, pemuliaan mutasi dapat digunakan untuk memperoleh varietas unggul dengan memperbaiki beberapa sifat yang diinginkan, tanpa mengubah sebagian besar sifat baiknya. Namun mutasi iradiasi pada tanaman juga dapat menimbulkan abnormalitas. Hal ini menandakan telah terjadi perubahan pada taraf genom, kromosom, dan DNA sehingga proses fisiologis pada tanaman menjadi tidak normal dan menghasilkan variasi-variasi genetik baru. Abnormalitas atau bahkan kematian pada populasi mutan (M_1) merupakan akibat dari terbentuknya radikal bebas seperti H^0 , yaitu ion yang bersifat sangat labil dalam proses reaksi sehingga mengakibatkan perubahan (mutasi) pada taraf DNA, sel ataupun jaringan (Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian Indonesia, 2011). Penelitian ini berusaha untuk meningkatkan keragaman genetika tanaman kedelai Kipas Merah melalui induksi iradiasi sinar gamma guna mendapatkan sifat-sifat yang baik seperti bulir kedelai yang lebih besar dari aslinya, dan berbagai sifat baik lainnya.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah galur murni Kipas Merah sebagai kontrol tetua tanpa radiasi, serta galur murni Kipas Merah yang diberi perlakuan iradiasi dengan sinar gamma dosis 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 dan 1000 Gy. Diantara dosis iradiasi yang digunakan diharapkan melalui proses seleksi lanjut akan menghasilkan mutan-mutan baru kedelai sukseksi Aceh dengan karakter yang diinginkan. Galur murni Kipas Merah yang sudah diradiasi ditanam di lahan kering sesuai dengan petunjuk teknis budidaya kedelai dan dibiarkan melakukan penyerbukan sendiri. Selanjutnya setelah matang fisiologis benih dipanen dan dikeringkan untuk mendapatkan populasi benih mutan M_2 . Semua tanaman mutan

yang tumbuh dievaluasi sifat morfologi dan hasilnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Persentase Tumbuh

Kedelai pada taraf iradiasi 0 Gy (kontrol, tanpa perlakuan sinar gamma) dapat tumbuh dengan normal, dimana persentase perkecambahan benih sebesar 97,05% dan 92,05% berhasil mencapai fase generatif hingga panen. Benih kontrol tidak mengalami mutasi (dipastikan tidak ada pengaruh faktor lingkungan) sehingga tidak terjadi perubahan pada variabel yang diamati. Persentase perkecambahan dan pertumbuhan kedelai sampai panen disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Persentase Perkecambahan Benih Kedelai Hasil Iradiasi dengan Sinar Gamma dan Tanaman Kedelai yang Berhasil Dipanen.

Taraf Radiasi (GY)	Jumlah benih berkecambah	Jumlah Tanaman yang dapat dipanen
0	78 (97,05%)	74 (92,05%)
100	82 (97,61%)	79 (94,04%)
200	71 (93,42%)	63 (82,89%)
300	60 (78,94%)	43 (56,57%)
400	56 (71,79%)	5 (6,41%)
500	50 (63,29%)	1 (1,26%)
600	52 (64,19%)	1 (1,23%)
700	20 (26,66%)	0
800	15 (21,12%)	0
900	10 (12,34%)	0
1000	4 (5,79%)	0

Perlakuan iradiasi menunjukkan adanya penurunan persentase pertumbuhan, semakin tinggi dosis iradiasi semakin rendah persentase kecambah yang tumbuh serta jumlah tanaman yang berhasil dipanen. Pada taraf iradiasi 700 Gy sampai dengan 1000 Gy, tidak ditemukan tanaman yang dapat mencapai fase generatif. Berdasarkan Tabel 1, maka dapat diduga bahwa LD 50 untuk kedelai Kipas Merah berada pada kisaran taraf iradiasi 200 Gy dan 300 Gy.

Tinggi Tanaman

Rata rata tinggi tanaman hasil iradiasi 0 Gy (kontrol), 100 Gy dan 200 Gy lebih tinggi dari rata-rata deskripsi tanaman kedelai Kipas Merah (50-60 cm), sedangkan pada taraf 300 Gy sampai 1000 Gy terjadi penurunan tinggi tanaman bahkan mulai taraf 700 Gy kecambah tidak berkembang dan berakhir dengan kematian (Gambar 1).



Gambar 1. Pertumbuhan kedelai mutan Kipas Merah berbagai taraf iradiasi pada umur 5 minggu setelah tanam

Bentuk Tanaman

Tanaman hasil iradiasi sinar gamma pada taraf 100-400 Gy masih membentuk ciri-ciri dan morfologinya seperti tanaman normal, tidak banyak yang berubah secara morfologi, sebagian kecil mutasi ditunjukkan pada jumlah dan bentuk daun yang berbeda. Pertumbuhan tanaman pada taraf iradiasi 500-600 Gy menunjukkan bentuk morfologi yang berbeda mulai dari batang, cabang, daun hingga bunga yang merupakan pertumbuhan yang abnormal.



Gambar 2. Perubahan bentuk tanaman mutan. A. Kedelai Merah normal; B. Perubahan bentuk batang dan warna bunga; C. Tanaman pendek; D. Tanaman rebah dan menjalar; E. Jumlah daun lebih; F. Tanaman kerdil; G. Daun satu.

Pengaruh mutasi terhadap tanaman ditunjukkan pada batang yang rebah dan menjalar, jumlah daun yang bertambah atau berkurang, letak daun yang berbeda, cabang yang hampa serta bunga yang lambat terbentuk, serta akar yang tidak kuat bahkan tanaman kerdil, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Bentuk Batang

Iradiasi sinar gamma mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk batang, mulai dari yang tidak kokoh, rebah dan menjalar. Salah satu efek negatif dari iradiasi sinar gamma adalah ukuran batang tanaman yang mengecil, sehingga dengan terpaan angin mengakibatkan tanaman patah. Di samping itu juga ditemukan tanaman yang tidak tahan terhadap hama penggerek batang. Perubahan yang sangat besar mulai terjadi pada taraf iradiasi 300 Gy ke atas, namun tanaman yang memiliki karakter batang seperti Kipas Merah masih dijumpai pada perlakuan iradiasi 300 Gy ke bawah.

Bentuk Daun

Bentuk daun yang ditunjukkan oleh tanaman mutan berbeda-beda, umumnya mutasi ini terjadi pada taraf 300-600 Gy. Beberapa perubahan bentuk yang terjadi yaitu lonjong, bulat, arah terbalik, dan jumlahnya yang lebih dari tiga atau sebaliknya. Kebanyakan daun tanaman bertambah jumlahnya hingga sampai 4, 5 dan 6 helai disetiap tangkainya, atau sebagian kecil malah berkurang menjadi 2 atau 1 helai disetiap tangkainya, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Bentuk Cabang

Tidak banyak pengaruh yang nyata terhadap bentuk cabang tanaman. Beberapa tanaman memiliki bentuk yang berbeda dengan Kipas Merah normal yaitu tidak membentuk kipas seperti ciri utama varietas ini. Beberapa tanaman memiliki cabang produktif lebih banyak dari tanaman kontrol seperti ditunjukkan pada Tabel 2, serta memiliki cabang yang lebih kuat dan kokoh.

Tabel 2. Rata-rata Jumlah Cabang Tanaman, Umur Tanaman Berbunga dan Rata-rata Jumlah Polong Kedelai Mutan pada Beberapa Taraf Iradiasi Sinar Gamma.

Taraf Iradiasi (Gy)	Rata-rata Jumlah Cabang pertanaman \pm sd			Umur Berbunga	Rata-rata jumlah Polong Pertanaman \pm sd		
	Total	produktif	Hampa		Total	Bernas	Hampa
0	2,89 \pm 1,45	2,27 \pm 5,29	0,12 \pm 0,45	37 - 47	56,51 \pm 22,99	48,97 \pm 20,90	6,95 \pm 6,45
100	2,62 \pm 1,68	2,51 \pm 1,67	0,10 \pm 0,1	37 - 41	50,54 \pm 27,54	43,41 \pm 25,37	7,56 \pm 7,31
200	2,98 \pm 1,69	2,80 \pm 1,70	0,17 \pm 0,13	37 - 41	54,53 \pm 33,73	37,93 \pm 23,34	16,53 \pm 15,21
300	2,55 \pm 1,39	2,41 \pm 1,28	0,40 \pm 0,10	37 - 41	47,58 \pm 26,17	29,16 \pm 17,51	18,65 \pm 16,88
400	2,4 \pm 1,02	2,4 \pm 1,02	-	39 - 46	52 \pm 43,81	23,8 \pm 20,66	28,2 \pm 25,64
500	3 \pm 0,0	3 \pm 0,0	-	38 - 47	61 \pm 0,0	36 \pm 0,0	25 \pm 0,0
600	3 \pm 0,0	3 \pm 0,0	-	39 - 50	70 \pm 0,0	39 \pm 0,0	31 \pm 0,0

Umur Berbunga, Bentuk dan Warna Bunga

Berbagai taraf iradiasi sinar gamma tidak memberikan perbedaan waktu berbunga seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Namun demikian sebagian kecil tanaman mutan memiliki warna bunga serta bentuk bunga yang berbeda dengan tanaman kontrol (ungu menjadi putih atau campuran putih dan ungu).

Jumlah Polong

Karakter positif yang diperlihatkan oleh mutan kedelai Kipas Merah terhadap jumlah polong adalah memiliki jumlah polong yang lebih banyak dari genotipe tetua, akan tetapi juga ditemukan tanaman mutan yang mempunyai jumlah polong hampa yang lebih banyak dari tetuanya. Dari data yang ditampilkan pada Tabel 2 ada kecenderungan semakin tinggi taraf iradiasi maka akan semakin besar persentase jumlah polong hampa.

Bulu Tanaman

Bulu yang melekat pada varietas Kipas Merah sesuai dengan deskripsi adalah berwarna coklat muda. Setelah diberikan perlakuan iradiasi, beberapa mutan kedelai memperlihatkan warna yang berbeda seperti warna coklat tua dan merah keunguan.

Tipe Tumbuh

Tanaman kedelai yang berasal dari benih yang diberi perlakuan iradiasi sebagian besar memiliki tipe tumbuh yang berbeda dengan tanaman kontrol, seperti

menjalar dan rebah, hanya sebagian kecil yang memiliki tipe tumbuh tegak.

Jumlah Buku

Iradiasi sinar gamma juga mempunyai pengaruh nyata terhadap ruas-ruas dan buku kedelai mutan. Beberapa tanaman mutan ada yang memiliki jumlah buku lebih banyak dari tanaman kontrol, namun tidak sedikit juga yang memiliki jumlah buku lebih sedikit. Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa ada kecenderungan semakin tinggi taraf iradiasi, semakin tinggi jumlah buku yang tidak produktif.

Tabel 3. Rata-Rata Jumlah Buku dan Produksi Biji Pertanaman Hasil Irradiasi

Taraf Iradiasi (Gy)	Rata-rata Jumlah buku pertanaman \pm sd			Rata-rata jumlah Biji \pm sd		
	Total	produktif	Hampa	Total	Berat biji/Tanaman	Berat 100 biji
0	31,27 \pm 9,71	24,19 \pm 9,63	7,08 \pm 0,08	90,91 \pm 42,48	14,58 \pm 7,01	15,98 \pm 2,53
100	28,62 \pm 10,63	21,15 \pm 10,33	7,46 \pm 0,30	78,01 \pm 51,05	12,94 \pm 8,55	16,42 \pm 4,09
200	31,55 \pm 11,37	21,49 \pm 11,39	10,06 \pm 0,01	51,65 \pm 31,22	8,31 \pm 5,20	16,09 \pm 2,88
300	29,55 \pm 9,32	18,95 \pm 8,79	10,60 \pm 0,53	18,95 \pm 29,60	6,38 \pm 4,48	15,44 \pm 1,74
400	30,2 \pm 5,46	17,4 \pm 8,16	12,8 \pm 2,70	24,20 \pm 12,86	3,35 \pm 1,89	13,62 \pm 0,71
500	26 \pm 0,0	19 \pm 0,0	7 \pm 0	95 \pm 0,0	12 \pm 0,0	12,635 \pm 0,0
600	24 \pm 0,0	22 \pm 0,0	2 \pm 0	56 \pm 0,0	6,51 \pm 0,0	11,63 \pm 0,0

Jumlah Biji per Tanaman

Bertambahnya jumlah polong pertanaman maka akan memberi dampak terhadap jumlah biji tanaman. Jumlah biji pertanaman pada tanaman mutan seperti dapat dilihat pada Tabel 3 terjadi penurunan dengan semakin tinggi taraf iradiasi.

Berat 100 Biji Pertanaman

Pengaruh iradiasi sinar gamma juga berpengaruh nyata terhadap berat 100 biji. Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa beberapa tanaman mutan menghasilkan perkiraan berat 100 biji lebih tinggi dari tanaman kontrol. Berat 100 biji beberapa tanaman mutan berkisar antara 16-20 g, sedangkan tanaman kontrol 16-18 g.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai standar deviasi pengamatan berbagai parameter pertumbuhan kedelai mutan cukup tinggi. Besarnya penyimpangan ini memberikan pengertian terbentuknya

keragaman tanaman mutan yang tinggi. Taraf iradiasi 200 Gy dan 300 Gy memiliki nilai standar deviasi (penyimpangan) paling tinggi terhadap kontrol dibandingkan 100 Gy, 400 Gy, 500 Gy dan 600 Gy. Oleh karena itu iradiasi sinar gamma pada taraf 200 Gy dan 300 Gy pada kedelai varietas Kipas Merah ditetapkan penyumbang keragaman tertinggi.

Rata-rata tinggi tanaman kontrol adalah 74,31 cm, dan jika dibandingkan dengan deskripsi kedelai kipas putih tinggi tanaman rata-rata hanya 50-60 cm. Perbedaan tersebut dapat diakibatkan oleh perbedaan jenis tanah, perlakuan pemupukan serta kemungkinan perbedaan musim tanaman. Tinggi tanaman mutan akibat iradiasi dengan taraf 100-400 Gy cenderung lebih tinggi dari deskripsi, pada iradiasi dengan taraf 500 dan 600 Gy lebih rendah, sedangkan iradiasi dengan taraf 700-1000 Gy tidak melanjutkan pertumbuhan setelah berkecambah atau

mengalami pertumbuhan rudimenter dan bahkan mengalami kematian.

Tanaman kedelai yang berasal dari benih yang diberi perlakuan iradiasi sebagian besar menunjukkan tipe tumbuh yang berbeda dengan tanaman kontrol, seperti bentuk menjalar dan rebah. Perubahan tipe tumbuh tanaman dari semideterminat menjadi tipe menjalar tersebut besar kemungkinan dipengaruhi oleh efek iradiasi sinar gamma yang diberikan.

Iradiasi sinar gamma juga mempunyai pengaruh nyata terhadap ruas-ruas dan buku kedelai. Jumlah buku pada tanaman mutan lebih banyak dari pada tanaman kontrol, hal ini sejalan dengan bertambah tinggi dan bertambahnya jumlah cabang kedelai kedelai mutan tersebut. Bertambahnya buku-buku ini juga akan mempengaruhi peningkatan hasil tanaman kedelai, dimana buku-buku akan menjadi tempat tumbuhnya polong-polong kedelai. Akan tetapi penambahan jumlah buku juga dapat memberikan efek negatif yaitu buku-buku ini dapat menjadi tempat patahnya batang tanaman kedelai akibat terpaan angin yang kencang. Kelainan morfologi tersebut juga berupa batang pendek (pada taraf iradiasi tinggi), perubahan jumlah daun, daun mengecil, daun kuning kehijauan, daun hijau kehitaman. Hal ini disebabkan iradiasi sinar gamma dari radio isotop menghasilkan energi yang tinggi sehingga dapat merusak ikatan kimia suatu senyawa menjadi senyawa baru. Apabila sinar gamma diberikan pada biji, maka dapat menghasilkan fenotipe baru yang lain dengan induknya. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Hindriana (2004) bahwa teknik mutasi iradiasi sinar gamma berpengaruh terhadap peningkatan jumlah klorofil daun kedelai sehingga mempengaruhi morfologi tanaman tersebut.

Beberapa tanaman mutan tidak dapat membentuk daun pertama sampai hari terakhir pengamatan, hal ini disebabkan karena iradiasi sinar gamma

menyebabkan mutasi khromosom yang berpengaruh terhadap daya kecambah plumula (bakal daun) dan bakal akar (radix). Di samping itu sinar gamma dapat mengganggu proses fisiologi tanaman sehingga menyebabkan berkurangnya konsentrasi auksin dan sitokinin dalam sel tanaman.

Bentuk perubahan yang positif dari tanaman mutan yang dihasilkan dari berbagai taraf iradiasi adalah adanya tanaman yang memiliki jumlah helaian yang lebih banyak dan penambahan jumlah cabang produktif yang kuat dan kokoh. Bertambahnya jumlah daun akan mengakibatkan proses fotosintesis akan lebih tinggi. Kedua karakter ini sangat menguntungkan karena selain dapat memperbaiki sifat tanaman, dan apabila dapat dipertahankan sampai generasi akhir seleksi akan berpotensi menghasilkan produksi kedelai lebih tinggi. Di samping itu juga terdapat beberapa mutan yang memiliki berat 100 biji yang lebih tinggi dari tanaman kontrol. Berdasarkan deskripsi berat 100 biji kedelai kipas putih adalah 12 g, sedangkan pada taraf iradiasi 100 dan 200 Gy menghasilkan berat biji 16-20 g per 100 biji. Perubahan ini ada kemungkinan diakibatkan karena biji kedelai yang bertambah besar dan bertambahnya kandungan protein pada tiap butir benih. Taraf iradiasi 400-600 Gy tidak berdampak positif terhadap berat biji tanaman, kemungkinan diakibatkan iradiasi yang terlalu tinggi sehingga kromosom tanaman rusak.

KESIMPULAN

Iradiasi sinar gamma dapat menginduksi keragaman genetik kedelai Kipas Merah yang ditunjukkan oleh variasi pada bentuk batang, daun dan hasil. Semakin tinggi tingkat iradiasi semakin tinggi tingkat kerusakan sel dan jaringan, bahkan berakibat pada kematian. Mutan generasi pertama (M_1) kedelai Kipas Merah berpotensi menghasilkan galur dengan berat 100 biji yang lebih tinggi dari tanaman asli (kontrol). Mutan generasi

pertama (M₁) kedelai Kipas Merah memungkinkan untuk dilakukan seleksi terhadap karakter baru seperti toleransi terhadap kekeringan, ketahanan terhadap penyakit dan berproduksi tinggi.

Principle and application of plant 176 mutagenesis in crop improvement: A review. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*. 30(1):1-16

DAFTAR PUSTAKA

Hindriana, A. F. 2004. Pengaruh Irradiasi Sinar Gamma terhadap Kandungan Klorofil, Kloroplas dan Biomassa *Glycine max*. JBPTITBBI/2004-02-19. 10:24-11

Sleper D.A. dan J.M. Poehlman. 2006. *Breeding Field Crops*. Edisi ke-5. Wiley-Blackwell

Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian Indonesia. 2011. Pemanfaatan Sinar Radiasi dalam Pemuliaan Tanaman. 33 (1):7-8

Oladosu Y, Rafii MY, Abdullah N, Hussin G, Ramli A, Rahim HA, et al. 2016.