

MENINGKATKAN KERAGAMAN GENETIK BAWANG PUTIH (*Allium sativum* L.) MELALUI MUTASI IRRADIASI GAMMA

IMPROVEMENS OF GENETIC VARIATI OF GARLIC (*Allium sativum* L.) THERE GAMMA IRRADIATION GARLIC

Gusni Yelni^{1*}, Zulfadly syarif², Musliar Kasim², P.K. Dewi Hayati²

S3 Program Studi Ilmu Pertanian Staf¹ Pengajar
Fakultas Pertanian Universitas Andalas²
(Email; gusni_yelni@yahoo.co.id)

Artikel Diterima 3 Desember 2019, disetujui 24 Desember 2019

ABSTRACT

Physical mutation methods can be used to enhance the character of local varieties of garlic. Gamma irradiation mutation is a good technique for assembling new, vegetatively propagated varieties because the cells are still actively dividing. The aim is to obtain information about the genetic diversity and parentage of certain garlic clones and to determine the level of changes in the gamma. The gamma rays used from the Co-60 or Cs-137 radio nuclides. The dose of the unit is measured in gray (Gy) and is equivalent to 1 J / kg. One kGy= one thousand gy. Radiation dose units previously used, where 100 rad= 1 Gy or 1 krad= 10 Gy. There are important differences in mutations specifically in morphological, physiological, biological and chemical properties, plant genetic changes occur. Changes can survive as a result of mutations and can develop properly. Normal cells will disappear and mutant cells will develop further, resulting in a new plant. Clones of *Allium sativum* with genetic diversity due to mutations will adapt to different environments.

Keywords; garlic clones, mutation induction, gamma rays, and mutagens

ABSTRAK

Perbaikan karakter varietas lokal bawang putih bisa dilakukan dengan metode mutasi fisik. Mutasi Iradiasi gamma merupakan teknik yang tepat untuk merakit keragaman baru yang diperbanyak secara vegetatif, karena sel-selnya masih aktif membelah. Tujuannya untuk memperoleh informasi tentang keragaman dan kekerabatan genetik beberapa klon bawang putih, dan mengetahui tingkat perubahan karakterirtik tanaman bawang putih akibat mutasi irradiasi gamma. Sinar gamma yang dipakai berasal dari nuklida radio Co-60 atau Cs-137. Satuan dosis diukur dengan gray (Gy) dan sepadan dengan serapan 1 J/kg. Satu kGy=1000 Gy. Sebelumnya digunakan satuan dosis rad, dimana 100 rad=1 Gy atau 1 krad=10 Gy. Mutasi memberikan variasi yang bermanfaat. Perubahan genetik tanaman terjadi pada karakter morfologi, fisiologi, anatomi, dan kimia. Berubahan akibat mutasi dapat bertahan dan bisa berkembang dengan baik. Sel-sel normal akan menghilang dan sel mutan akan terus berkembang menghasilkan penampilan baru pada tanaman. Klon *Allium sativum* yang memiliki keragaman genetik akibat mutasi yang diberikan bisa beradaptasi pada berbagai lingkungan.

Kata kunci; klon bawang putih, induksi mutasi, sinar gamma, dan mutagen

I. PENDAHULUAN

Bawang putih (*Allium sativum* L.) sebagai tanaman sayuran yang paling banyak dibudidayakan di berbagai benua untuk tujuan rasa, nutrisi, dan obat-obatan. Asal usul bawang putih yang dibudidayakan dari Asia Tengah, dikumpulkan oleh suku seminomadik sekitar 10.000 tahun yang lalu. Penyebaran bawang putih ke berbagai wilayah di dunia seperti ke Mediterania Basin, India, dan Cina diperkenalkan oleh para pedagang (Engeland 1991; Etoh dan Simon 2002).

Perkembangan dan produksi bawang putih di Indonesia mengalami penurunan tajam. Rendahnya produksi bawang putih disebabkan karena sedikitnya kultivar lokal dan varietas unggul yang bisa dibudidayakan petani. Ketersediaan benih bawang putih berkualitas yang adaptif dengan kondisi di Indonesia masih sedikit. Kemampuan adaptasi kultivar bawang putih terhadap faktor iklim, jenis tanah, dan ketinggian tempat sangat rendah. Pengaruh interaksi antara genotip dengan lingkungan tumbuh sangat erat sekali untuk pencapaian produktivitas secara maksimal (Harsanti *et al.*, 2013; dan Saidah *et al.*, 2015). Penelitian Jo *et al.*, 2012), menunjukkan hasil bahwa keragaman genetik berkorelasi dengan wilayah geografis.

Pengembangan potensi tanaman lokal perlu dilakukan dengan cara perbaikan karakter varietas lokal yang masih sedikit. Mutasi merupakan teknik yang tepat untuk merakit keragaman baru pada tanaman yang perbanyakannya secara vegetatif karena sel-selnya sedang aktif membelah. Mutasi dapat diinduksi secara buatan dengan mutagen fisik melalui iradiasi sinar gamma (Djajanegara *et al.*, 2007; Suprasanna, 2013). Penggunaan Sinar gamma untuk perbaikan cekaman biotik, cekaman abiotik, dan karakter-karakter baik pada tanaman yang diproduksi dari biji maupun yang diperbanyak secara vegetatif (Jain, dan Chande 2010). Selain itu mutasi dengan sinar gamma juga mampu memperbaiki karakter pertumbuhan dan produksi tanaman (Singh, *et al.*, 2015; Astaneh *et al.*, 2019). Mutasi juga mampu

mendapatkan sifat-sifat baru dan memiliki sifat unggul yang tidak dimiliki oleh tanaman induknya dengan hasil yang tak terduga (Parry *et al.* 2009; Aisyah, 2015). Menurut Kurowska *et al.* (2012) dan Harsanti *et al.*, (2015) mutasi induksi merupakan cara yang telah terbukti menimbulkan keragaman varietas tanaman. Menghasilkan sifat yang diinginkan baik yang tidak dapat dinyatakan dalam sifat asal atau yang telah hilang selama evolusi.

Marchesi (1982), mendapatkan mutan bawang putih hasil radiasi sinar gamma dosis 1 – 4 Gy. Sedangkan Sumiyarsih dan Aliudin (1990), dengan perlakuan radiasi sinar gamma dosis 2 – 12 Gy mendapatkan hasil mutan bawang putih yang bisa memperbaiki tinggi tanaman. Penelitian Kebeish, *et al.* (2015), dengan perlakuan sinar gamma dosis mulai dari 10 hingga 150 Gy mendapatkan bawang putih (*Allium sativum* L.) yang mengalami perubahan pada sifat morfologi, biokimia, dan sifat-sifat molekul. Perubahan gen *Alliinase* yang secara bertahap akan berkurang dengan meningkatnya dosis radiasi γ .

Iradiasi sinar gamma pada umbi varietas Sumenep dengan dosis 2 Gy dan 3 Gy dapat meningkatkan hasil umbi (Sunarjono *et al.*, 1987), tetapi percobaan yang dilakukan oleh Soedomo *et al.* (1987) pada umbi varietas Bima Brebes dosis 2.5 Gy, 5Gy, dan 7.5 Gy justru menurunkan hasil umbinya. Iradiasi pada biji bawang bombai (Amjad *et al.*, 2008) dengan dosis 100 dan 200 Gray (Gy) meningkatkan persentase perkecambahan biji dan tunas abnormal akan semakin bertambah seiring meningkatnya dosis yang digunakan.

II. KARAGAMAN GENETIK DAN ADAPTASI BAWANG PUTIH (*Allium sativum* L.)

2.1 Keragaman Genetik Bawang Putih

Bawang putih termasuk kedalam Kingdom; Plantae, Divisi; *Spermatophyta*, Kelas; *Monocotyledoneae*, Ordo; *Liliflorae*, Famili; *Liliaceae*, Genus; *Allium*, Spesies; *Allium sativum* L. Fritsch, *et al.* (2006), membagi kelompok kultivar bawang putih

menjadi 4; 1) kelompok longiscupis dari Asia Tengah menghasilkan perbungaan dengan beberapa biji fertil serta topset kecil. 2) turunan longiscupis, yakni pekinense berasal dari Cina dan mempunyai ukuran yang lebih kecil serta beberapa topset besar. 3) kelompok sativum subtropical yang mencakup tipe bolting dan non-bolting berasal dari daerah Mediterania. Bawang putih yang mempunyai umbi kecil dan secara umum dikonsumsi daunnya termasuk kelompok subtropical, yakni kelompok bawang putih dari India, Vietnam, dan Myanmar. 4) ophioscorodon. Rubatzky dan Yamaguchi (1998), mendeskripsikan ophioscorodon sebagai kelompok bawang putih berleher keras yang mempunyai umbi layang menghasilkan tangkai bunga dengan bulbil kecil pada bagian ujung, umbinya yang lebih kecil dengan siung yang lebih sedikit dan lebih beragam dalam susunan yang cukup baik dibandingkan *Allium sativum* tipe lain.

Sampai saat ini, bawang putih memiliki variasi yang cukup tinggi terutama dari aspek saat masak/panen, ukuran, bentuk, dan warna umbi, jumlah siung per umbi, ukuran siung, aroma, dan kemampuan berbunga serta karakteristik daun (Chomatova *et al.*, 1990; Mc. Collum, 1996).

Berdasarkan analisis isozim dan RAPD heterogenitas terbesar bawang putih berada pada kelompok kultivar yang berasal dari Asia (Maaß and Klaas, 1995, dan Bradley *et al.* 1996). Di Indonesia, klon bawang putih dapat dikelompokkan menjadi 3 grup, yaitu Lumbu Hijau, Lumbu Kuning, dan Lumbu Putih. Lumbu Hijau dan Lumbu Kuning cocok ditanam di dataran tinggi, sedangkan Lumbu Putih lebih cocok ditanam di dataran rendah. Beberapa kultivar lokal lainnya yang cukup potensial, antara lain Sanur, Layur, Bogor, Kresek, dan masih banyak lagi klon-klon lokal yang kemungkinan belum dievaluasi. Zepeda (1997) dan Figliuolo *et al.* (2001), menyatakan bahwa klon bawang putih komersial dapat diseleksi dan diidentifikasi berdasarkan bentuk kanopi dan karakter yang berhubungan dengan produksi. Menurut Baghalian *et al.* (2006), karakter

morfologis dan fitomedis yang mengatur ekotipe dalam kelompok tanaman tidak menunjukkan hubungan yang signifikan antara keragaman genetik dan asal geografis.

Keanekaragaman genetik dalam satu spesies secara geografik masing-masing individu akan berbeda, meskipun terdapat dalam satu populasi. Variasi genetik yang muncul disebabkan setiap individu mempunyai bentuk gen yang khas. Pertambahan variasi genetik terjadi ketika keturunan menerima kombinasi gen dan kromosom dari induknya melalui reproduksi seksual. Menurut García-Lampasona, *et al.* (2012); Kusuma *et al.* (2013), meskipun bawang putih diperbanyak secara aseksual tetapi bawang putih memiliki keragaman karakter fisiologis, morfologis, dan agronomis yang luas karena akumulasi mutasi.

Bawang putih dikenal sebagai tanaman yang steril. Etoh dan Simon, (2002) menjelaskan bahwa sterilitas bawang putih disebabkan oleh adanya delesi kromosom. Akumulasi delesi kromosom menyebabkan hilangnya beberapa gen yang terlibat dalam proses pembentukan gamet. Sterilitas bawang putih juga disebabkan oleh degenerasi benang sari. Menurut Koul dan Gohil (1970), menambahkan penyebab sterilitas bawang putih yaitu keterbatasan nutrisi yang berakibat pada persaingan antara topset dan bunga. Pembungan topset diperlukan untuk menghasilkan biji bawang putih, meski demikian keberadaan topset bukan merupakan penyebab utama sterilitas bawang putih.

Biji tanaman dibutuhkan dibidang pemuliaan tanaman untuk meningkatkan keragaman klon-klon baru. Perluasan keragaman genetik menurut Hermanto, dan Syukur (2017) dapat dilakukan melalui hibridisasi atau persilangan buatan. Masalah sterilitas bawang putih menjadi penghalang dalam proses hibridisasi sehingga seleksi terhadap tanaman bawang putih dapat dilakukan dengan memanfaatkan keragaman genetik yang ada di alam. Sutarto *et al.*, (2004) menyatakan bahwa tanaman bawang putih mempunyai keragaman genetik yang

rendah karena perbanyakannya dilakukan secara vegetatif. Pemunculan karakter tertentu, seperti produksi biji, tergantung pada konstitusi genetik tanaman dan lingkungannya.

Menganalisis keragaman genetik dari genus *Allium* yang terdiri dari beragam spesies lakukan oleh Lee *et al.* (2011), memperoleh 50 penanda mikrosatelit yang dapat dipindahkan dari polimorfik *Allium sativum*. Penelitian (Chen *et al.* 2013), analisis cluster dan analisis komponen utama digunakan untuk menyelidiki keragaman genetik dari 40 plasma nutfah bawang putih

yang dianalisis dengan 23 kombinasi primer yang berhubungan dengan amplified polymorphism (SRAP). Penelitian (Chen *et al.* 2014), keragaman genetik dari 39 aksesi bawang putih dengan menggunakan delapan kombinasi primer simple sequencerepeat (SSR) dan 17 primer kombinasi sekuens antar sekuens (ISSR). Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa delapan SSR dan 17 ISSR yang diidentifikasi secara primer dapat menentukan penanda keanekaragaman genetik untuk digunakan oleh pemulia tanaman.

Table 1. Nomor dan Nama 39 Turunan Kultivar Bawang Putih

No	Kultivar	Sumber Koleksi	No	Kultivar	Sumber Koleksi
1	Xiangfan ershui early	Xiangfan, Hubei	21	N0. 22	Yangling, Shaanxi
2	Wenjiang seven star red	Wenjing, Sichuan	22	Sicuan purple	Penghou, Sichuan
3	Peng country early	Peng country, Sichuan	23	Ethiopia white	Ethiopia
4	Jiading N0 2	Jiading, Shanghai	24	Hanzong purple	Caijiapo, Shaanxi
5	Putuo	Yang countyn Shaanxi	25	Sicuan red	Pengzhou, Sichuan
6	Thailand qingmai	Qingmai, Thailand	26	Hanzhong red	Yangling, Shaanxi
7	Long country early	Long country, Shaanxi	27	Japan white	Japan
8	Xingping white	Xingping, Shaanxi	28	Fenggang white	Fenggan, Hebei
9	Gailiang	Yangling, Shaanxi	29	No. 31	Pucheng, Shaanxi
10	Cangshan	Cangshan, Shandong	30	No. 32	Taiwan
11	Caijiapo seven leanes	Qishan, Shaanxi	31	No. 33	Guiyang, Guizhou
12	Yao country red	Yao country, Shaanxi	32	No.34	Guiyang, Guizhou
13	Ningqiang mountain garlic	Ningqiang country, Shaanxi	33	No. 35	Guiyang, Guizhou
14	Xiangfan red	Xiangfan, Hubei	34	No. 36	Guiyang, Guizhou
15	Peng country late	Peng country, Sichuan	35	No. 37	Guiyang, Guizhou
16	Taicang white	Taicang, Jiangsu	36	Korea solyeng	Korea
17	Russian garlic	Tai'an, Shandong	37	No. 40	Jeju Island, Korea
18	Luliang garlic	Luliang, Yunnan	38	Suzhou white	Suzhou, Jiamgsu
19	Bijie garlic	Bijie, Guizhou	39	74-x	Yangling, Shaanxi
20	No. 21	Yangling, Shaanxi			

Sumber: (Chen *et al.*, 2014)

Karakterisasi morfologi masing-masing enunjukkan perbedaan yang cukup besar terlihat dari bentuk umbi dan siung dan warna daun. Bentuk umbi dari masing-masing genotipe bawang putih ditanam didataran tinggi Karo memiliki bentuk sama yaitu flat globe, sedangkan warna umbi maupun warna siung lebih didominasi warna putih ungu. Warna daun yang ada hijau muda (Lumbu hijau asal Tegal dan Lumbu hijau asal Tawang Margun), hijau kekuningan (Lumbu kuning asal Tawang Margun), hijau

genotipe bawang putih umumnya tidak m tua (Sembalun dan bawang putih lokal Berastagi). Perbedaan morfologi antar genotipe bawang putih dipengaruhi kondisi lingkungan, ketinggian tempat, suhu dan kesuburan tanah. (Simon *et al.*, 2003; Volk *et al.*, 2004) melaporkan bahwa bawang putih sangat responsif terhadap lingkungan, bentuk klon akan bervariasi bergantung lokasi tanam. klon yang secara genetik sama kemungkinan dapat berbeda namanya. Informasi hubungan genetik antara klon

bawang putih, akan kemudahan bagi petani untuk memilih klon yang diinginkan untuk usahatannya.

Klon-klon bawang putih lokal (*Allium sativum* L.) sangat sulit ditemukan di Indonesia. Eksplorasi dan konservasi plasma nutfah sangat penting dilakukan upaya mendukung perbaikan kualitas klon bawang putih pada masa mendatang. Hardiyanto, *et al.* (2007), mengelompokkan tiga klon bawang putih berdasarkan umur panen yaitu umur panen pendek (90-110 hari setelah tanam) meliputi NTT, Teki, Sanggah, dan Lumbu Kuning, umur panen sedang (111-131 hari setelah tanam) meliputi Saigon, Lumbu Hijau, Krisik, Tawangmangu, dan Ciwidey, dan umur panen dalam (di atas 131 hari), yaitu Tiongkok. Tinggi batang semu bervariasi antara 9-26 cm. Klon Ciwidey dan Tiongkok terlihat paling pendek dibandingkan dengan klon lainnya. Diameter batang semu klon Tawangmangu terlihat paling besar dibandingkan klon lain. Jumlah daun, klon Ciwidey paling sedikit (9 helai) dibandingkan klon lainnya (11-15 helai). Hasil dan komponen hasil terlihat bahwa klon Tawangmangu dan Krisik memiliki

bobot umbi yang paling tinggi, yaitu masing-masing 66,67 g dan 58,33 g/tanaman dibandingkan 8 klon lainnya. Sedangkan klon Sanggah dan NTT memiliki bobot umbi terendah, yaitu hanya 23,67 g dan 24,33 g/tanaman. Produksi total tertinggi dicapai oleh klon Tawangmangu dan Lumbu Hijau masing-masing mencapai 33,21 t/ha dan 29,49 t/ha. (Figliuolo *et al.*, 2001), menyatakan bahwa klon bawang putih komersial dapat diseleksi dan diidentifikasi berdasarkan bentuk kanopi dan karakter yang berhubungan dengan produksi.

Varietas bawang putih yang banyak dibudidayakan di Indonesia adalah Lumbu Hijau, Lumbu Kuning dan Lumbu Putih, Bagor (Ngajuk), Lr (Batu), Jatibarang (Jati Barang), dan Lokal Sanur (Sarwadana *et al.*, 2007). Di antara varietas tersebut, Lumbu Hijau memberikan produksi tinggi dibandingkan varietas lainnya, karena ukuran umbinya lebih besar dan aromanya lebih tajam. Di Sumatera Utara terdapat bawang putih lokal yaitu kultivar Doulu, dimana kultivar ini belum banyak dilaporkan. Menurut Gultom (2016), bawang putih kultivar Doulu dikenal luas oleh masyarakat karena memiliki rasa yang pedas dan aromanya yang tajam.

Tabel 2. Bentuk umbi, warna umbi, dan warna siung, warna daun dan orientasi daun beberapa klon bawang putih.

Klon	Bentuk Umbi	Warna Umbi	Warna Siung	Warna Daun	Orientasi Daun
Saigon	Flat globe	Putih keunguan	Putih keunguan	Hijau	Menyebar
Lumbu Kuning	Flat globe	Ungu tua	Putih keunguan	Hijau kekuningan	Menyebar
Krisik	Flat globe	Putih keunguan	Putih keunguan	Hijau Keabu-abuan	Setengah tegak
Sanggah	Flat globe	Ungu	Putih keunguan	Hijau muda	Tegak
Lumbu Hijau	Flat globe	Ungu muda	Ungu muda	Hijau muda	Menyebar
Tiongkok	Globe	Krem	Krem	Hijau Keabu-abuan	Menyebar
Tawangmangu	Flat globe	Putih keunguan	Putih keunguan	Hijau Keabu-abuan	Setengah tegak
NTT	Flat globe	Ungu	Putih keunguan	Hijau kekuningan	Tegak
Teki	Flat globe	Ungu	Putih keunguan	Hijau muda	Tegak
Ciwidey	Flat globe	Putih keunguan	Putih keunguan	Hijau tua	Tegak

Sumber, (Hardiyanto, *et al.*, 2007)

2.2 Daya Adaptasi Tanaman Bawang Putih Terhadap Lingkungan

Pengembangan varietas bawang putih masih kebanyakan ditanam berdasarkan asal adaptasinya. Sebagian klon bawang putih cocok ditanam antara 600-1,000 m di atas

permukaan laut (dpl) (Sarwadana, 2007). Varietas Lumbu Hijau mampu menghasilkan 7 ton umbi kering setiap hektar. Namun demikian varietas Lumbu Hijau hanya dapat tumbuh pada ketinggian tempat 1000 -1600 m di atas permukaan taut (dpl) dengan suhu rendah 20 -25°C dan tekstur tanah lempung berpasir..

Kondisi lingkungan menjadi kendala dalam memperluas areal penanaman bawang putih karena keterbatasan klon yang mempunyai daya adaptasi yang luas terhadap lokasi penanaman baru. Mojtahedi *et al.* (2013) menyatakan bahwa suhu rendah merupakan faktor utama yang mempengaruhi pertumbuhan umbi bawang putih. Bandara *et al.* (2000) menambahkan bahwa pembentukan perbungaan dan hasil umbi yang lebih tinggi diperoleh jika siung bawang putih disimpan pada suhu 4°C selama 45 atau 60 hari sebelum ditanam di lapangan. Meski demikian, Rubatzky dan Yamaguchi (1998) menyatakan bahwa penyimpanan suhu rendah yang berlebihan dapat meningkatkan kemungkinan terbentuknya umbi bersiung tunggal atau umbi kecil yang terbentuk terlalu dini.

Karakteristik lahan sangat penting dalam pengolahan lahan budidaya untuk mencapai produksi bawang putih yang optimal. Rendahnya produktivitas bawang putih disebabkan oleh degradasi lahan, penerapan teknik budidaya tidak sesuai dengan kemampuan lahan maupun iklim, dan pemilihan bibit yang belum sesuai (Samijan *et al.*, 2011). Intensitas pengelolaan lahan sangat menentukan hasil umbi bawang putih, terutama dalam hal pengolahan tanah, irigasi, pemupukan dan pemulsaan (organik dan anorganik), serta pengendalian OPT (Istina, 2016; Wisardja *et al.*, 2017; Adeyeye *et al.*, 2017).

Karakteristik tanah yang beragam menentukan tingkat pengelolaan lahan untuk budidaya tanaman bawang putih (Hardjono *et al.* 2016; Septiyan, *et al.* 2019). Lahan yang berkualitas mempunyai tingkat produktivitas tanaman yang tinggi. Aktifitas budidaya pertanian secara optimalisasi sangat membutuhkan ketersediaan air dan

organisme (mikro maupun makro). Tanah memiliki kontribusi besar dalam kehidupan biota (mikroorganisme), seperti cacing atau sejenis insect. Pembentukan komposisi tanah (fisik, bio, dan kimia) menjadi subur atau mampu meningkatkan fungsi ekosistem (tanah) lebih optimal (John W. Dorana, 2000; Barrios, 2007), sehingga menjaga dan melestarikan tanah dalam pertanian perlu mendapat perhatian semua pihak, tak terkecuali para petani yang kini dihadapkan banyak permasalahan, yang semakin kompleks dan dinamis.

III. INDUKSI MUTASI IRRADIASI SINAR GAMMA

Mutasi adalah suatu proses dimana gen mengalami perubahan atau segala macam tipe perubahan bahan keturunan yang menyebabkan perubahan fenotip yang diwariskan dari satu generasi ke generasi berikutnya (Harsanti dan Yulidar, 2015). Berdasarkan tipe struktur perubahannya, mutasi diklasifikasikan atas: (1) mutasi genomik yang menyebabkan perubahan jumlah kromosom (poliploid, haploid, aneuploid), (2) mutasi kromosom, yaitu terjadinya perubahan struktur kromosom (defisiensi, inversi, duplikasi, dan translokasi kromosom), (3) mutasi gen, yaitu perubahan pada urutan basa nukleotida karena terjadi delesi atau substitusi, dan (4) mutasi diluar inti sel, yaitu yang terjadi pada cytoplasmic genome. (Acquaah, 2007).

Mutasi yang diinduksi sangat efektif dalam meningkatkan sumber daya genetik alami. Beberapa penelitian dengan induksi mutasi digunakan untuk mengembangkan kultivar sereal, buah-buahan dan tanaman lain (Lee *et al.*, 2002). Terbukti di bidang Pemuliaan tanaman mutasi memberikan variasi yang bermanfaat. Di dunia selama tujuh dekade terakhir, lebih dari 2252 varietas mutan dari berbagai tanaman secara resmi dirilis (Maluszynski *et al.*, 2000) . Beberapa penelitian menggunakan iradiasi sinar gamma dengan tujuan meningkatkan keragaman genetik. Mendapat tanaman toleransi cekaman abiotik dan biotik serta peningkatan kuantitas dan kualitas hasil,

diantaranya: kentang (Ahmad *et al.*, 2010; Yaycili dan Alikamanoğlu, 2012), sorghum (Soeranto dan Sihono, 2010), padi (Shanthi *et al.*, 2010), gandum (Singh dan Balyan, 2009; Borzouei *et al.*, 2010; Plamenov *et al.*, 2013). Tomat (Ishfaq *et al.*, 2012), wortel (Nagananda *et al.*, 2013), kedelai (Alify *et al.*, 2013), krisan (Dwimahyani dan Widiarsih, 2010; Hanafiah *et al.*, 2010).

Mutasi dengan memakai mutagen fisik yang meliputi sinar X, sinar gamma, neutron, partikel beta, partikel alfa, dan proton. Sinar gamma sangat luas digunakan dalam pemuliaan tanaman. Sinar gamma merupakan radiasi elektromagnetik yang diproduksi oleh radio isotop dan reaktor nuklir, contohnya Co60 dan Ce137. Sinar gamma yang digunakan dalam mendukung pemuliaan konvensional aman untuk manusia dan lingkungan, dan bisa digunakan pada beberapa spesies tanaman. Proses setelah aplikasi tidak diperlukan dan juga bisa dibidang teknologi modern lainnya seperti perbanyakan *in vitro* (Lestari, 2009; Ulukapi and Nasircilar, 2015). Sinar gamma berasal dari nuklida radio Co-60 atau Cs-137 yang biasa digunakan dalam iradiasi makanan. Satuan dosis yang terserap diukur dengan gray (Gy) dan sepadan dengan serapan 1 J/kg. Satu kGy=1000 Gy. Sebelumnya digunakan satuan dosis rad, dimana 100 rad=1 Gy atau 1 krad=10 Gy (Kovacs dan Keresztes 2002). Jika dosis iradiasi terlalu tinggi, proliferasi mungkin tidak dapat terlihat karena banyak sel yang mati (Vaijapurkar *et al.*, 2001).

Keberhasilan radiasi untuk meningkatkan keragaman tanaman sangat ditentukan oleh radio sensitivitas tanaman yang diukur berdasarkan nilai lethal dose (LD). Nilai lethal dose 50 (LD50), yaitu tingkat dosis yang menyebabkan kematian 50% dari populasi tanaman yang diiradiasi. Dosis optimum dalam induksi mutasi yang menimbulkan keragaman dan menghasilkan mutan terbanyak biasanya terjadi di sekitar LD50. Selain LD50, radio sensitivitas juga dapat diamati dari adanya hambatan pertumbuhan atau kematian (letalitas), mutasi somatik, patahan kromosom, serta jumlah,

dan ukuran kromosom (Acquaah, 2007; Asadi, 2013; Bermawie *et al.*, 2018). Penentuan nilai LD50 perlu dilakukan untuk menghasilkan frekuensi mutasi (persentase yang termutasi) yang diharapkan tinggi. Radiasi sinar gamma dapat dipancarkan oleh Co-60, 137Cs (Makhziah *et al.*, 2017). Radiasi gamma Co-60 dapat dilakukan untuk meningkatkan keragaman pada tanaman dan memungkinkan untuk meningkatkan hanya satu karakter yang diinginkan saja, tanpa mengubah karakter yang lainnya.

Keragaman genetik akibat mutasi dapat dilihat secara morfologi, agronomi, dan molekuler. Efektifitas perbaikan genetik untuk sifat-sifat yang diinginkan seperti sifat agronomis, anatomi, biokimia, fisiologi dalam program pemuliaan mutasi ditentukan oleh dosis iradiasi dan tingkat radio sensitivitas tanaman yang diiradiasi dan kondisi tanaman saat diiradiasi (Ramani *et al.*, 1991; Kim *et al.*, 2004; Wi *et al.*, 2007; Younessi *et al.*, 2011; Mudibu *et al.*, 2012). Mutagen fisik dengan sinar gamma akan mengakibatkan deleksi DNA dalam skala besar dan perubahan di struktur kromosom (Parry *et al.*, 2009). Marka molekuler Random Amplification of Polymorphic DNA RAPD dapat membedakan galur mutan dengan varietas asalnya, sebagaimana dilaporkan oleh Taryono *et al.* (2011). Sinar gamma menghasilkan reactive oxygen species (ROS), yang berinteraksi dengan DNA dan menyebabkan substitusi basa dan juga penyusunan kembali genom (Naito *et al.* 2005; Morita *et al.* 2009).

Ramesh *et al.* (2012) menyatakan bahwa terhambatnya pertumbuhan tanaman hasil iradiasi disebabkan oleh kerusakan sel dan kromosom yang berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi mutagen. Berbagai metode tersedia untuk mempelajari efek mutagen pada tanaman (Chopra 2005). Analisis pada tingkat morfologi dianggap belum cukup untuk analisis keragaman tanaman. Metode lain yang bisa digunakan adalah penggunaan marka molekuler untuk membandingkan efek genotipe pada tingkat DNA (Dhillon *et al.*, 2014). Salah satu

metode analisis molekuler adalah Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD). Random Amplified Polymorphism DNA (RAPD) merupakan marka dominan yang mampu menunjukkan polimorfisme baik dan bisa digunakan untuk mengetahui keragaman genetik dan hubungan antar spesies pada level molekuler (Arya *et al.* 2010; Siddiqui *et al.*, 2011). Mutasi dapat bertahan maka sel normal akan menghilang dan sel mutan akan terus berkembang menghasilkan penampilan baru pada tanaman, namun apabila sel mutan tidak mampu bertahan maka penampilan tanaman akan normal kembali karena sel normal mampu bertahan dan bisa berkembang dengan baik.

Penelitian telah menghasilkan perubahan kualitatif pada tanaman hasil iradiasi diantaranya dilaporkan oleh Hasbullah *et al.* (2012) bahwa iradiasi sinar gamma mempengaruhi perubahan warna kalus pada tanaman hias Gerbera jamesonii dari putih menjadi coklat tua dan perubahan warna daun dari hijau tua menjadi hijau muda. (Singh dan Anjana, 2015) menghasilkan mutan gladiol warna kuning muda pada generasi MV3. Romeida (2012) dari hasil penelitiannya dengan iradiasi sinar gamma

III. KESIMPULAN

Varietas bawang putih yang banyak dibudidayakan di Indonesia adalah Lumbu Hijau, Lumbu Kuning dan Lumbu Putih, Bagor (Ngajuk), Lr (Batu), Jatibarang (Jati Barang), dan Lokal Sanur. Varietas lokal bawang putih yang dibudidayakan sekarang masih sangat sedikit, disebabkan daya adaptasinya yang rendah. Keragaman genetik pada bawang putih dapat ditingkatkan melalui pemuliaan mutasi. Iradiasi dengan sinar gamma dilaporkan mampu menginduksi keragaman genetik. Radiasi gamma Co-60 dapat digunakan untuk meningkatkan keragaman pada tanaman dan memungkinkan untuk meningkatkan hanya satu karakter yang diinginkan saja, tanpa mengubah karakter yang lainnya.

Dosis radiasi yang digunakan untuk mendapatkan mutan bawang putih yaitu dosis 1 – 12 Gy, yang mendapatkan hasil mutan bawang putih yang bisa memperbaiki tinggi tanaman. Perlakuan sinar gamma dosis mulai dari 10 - 150 Gy mengakibatkan karakteristik bawang putih (*Allium sativum* L.) mengalami perubahan pada sifat morfologi, biokimia, dan sifat-sifat molekuler. Perubahan gen *Alliinase* yang secara bertahap akan berkurang dengan meningkatnya dosis radiasi gamma (γ). Jika sel yang termutasi dapat bertahan maka sel normal akan menghilang dan sel mutan akan terus berkembang menghasilkan penampilan baru pada tanaman. Klon *Allium sativum* yang memiliki keragaman genetik akibat mutasi yang diberikan bisa beradaptasi pada berbagai lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Acquaah, G. 2007. Principles of Plant Genetics and Breeding. Blackwell Publishing. USA, UK, Australia. 569 p.
- Adeyeye, A.S., Ishaku, M.A., Gadu, H.O., Olalekan, K.K. and Lamid, W.A. 2017. Comparative effect of organic and inorganic fertilizer treatments on the growth and yield of onion (*Allium cepa* L). RRJBS, 6(2): 8-11
- Ahmad, I., I.A. Nasir, M.S. Haider, M.A. Javed, M.A. Javed, Z. Latif, T. Husnain. 2010. In vitro induction of mutation in potato cultivar. Pak. J. Phytopathol. 22:51-57.
- Aisyah, S.I., Y. Marthin, M.R.M. Damanik. 2015. Improvement of coleus performance through mutation induction using gamma ray irradiation. *J. Tropical. Crop. Sci.* 2(1): 1-7.
- Alify, A.M.R., M.M. Rashed, A.M. Ebstam, H.S. Elbeltagi. 2013. Effect of gamma radiation on the lipid profiles soybean, peanut, dan sasame seed oils. *Grasas. Y. Aceites.* 64:256-368.
- Amjad hameed, Tariq mahmud Shaha, Babar Manzoor Atta, M. Ashnul Haq and Hina Sayed (2008). Gamma irradiation effects on seed germination and

- growth, protien content, peroxidase and protease activity, lipid peroxidation in desi and kabuli chickpea. *Pak. J. Bot.*, 40(3): 1033-1041.
- Asadi, Asadi. 2013. "Pemuliaan Mutasi Untuk Perbaikan Terhadap Umur Dan Produktivitas Pada Kedelai." *Jurnal AgroBiogen* 9(3):135-42.
- Astaneh, R. Khademi, S. Bolandnazar, F. Zaare Nahandi, and S. Oustan. 2019. "Effects of Selenium on Enzymatic Changes and Productivity of Garlic under Salinity Stress." *South African Journal of Botany* 121:447-55.
- Arya V, Yadav S, YadavJP. 2010. Intra-specific Genetic Diversity of Different Accessions of *Cassia occidentalis* by RAPD Markers. *Genet. Eng. Biotech.* 20(22):1-8.
- Baghalian, Kambiz, Mohammad Reza Naghavi, Seyed Ali Ziai, and Hassanali Naghdi Badi. 2006. "Post-Planting Evaluation of Morphological Characters and Allicin Content in Iranian Garlic (*Allium Sativum* L.) Ecotypes." *Scientia Horticulturae* 107(4):405-10.
- Bandara, M.S., K. Krieger., A.E. Sinkard, K.K. Tanino. 2000. Pre-planting chilling requirements for cloving of spring-planted garlic. *Can. J. Plant Sci.* 80(2):379-384
- Barrios, Edmundo. 2007. "Soil Biota, Ecosystem Services and Land Productivity." *Ecological Economics* 1-17.
- Bermawie, Nurliani, NFN Ma'mun, Susi Purwiyanti, and Wawan Lukman. 2018. "Selection of Nutmeg Mother Trees In The Germplasm Collection at Cicurug Experimental Station Sukabumi." *Buletin Penelitian Tanaman Rempah Dan Obat* 29(1):21-36.
- Borzouei, A., M. Kafi, H. Khazaei, B. Naseriyan, and A. Majdabadi. 2010. "Effects of Gamma Radiation on Germination and Physiological Aspects of Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Seedlings." *Pakistan Journal of Botany* 42(4):2281-90.
- Bradley, K., M. A. Rieger, and G. Collins, 1996: Classification of Australian garlic cultivars by DNA fingerprinting. *Anim. Prod. Sci.* 36, 613-618.
- Chen, Shuxia, Jing Zhou, Qiao Chen, Yanxia Chang, Junna Du, and Huanwen Meng. 2013. "Analysis of the Genetic Diversity of Garlic (*Allium Sativum* L.) Germplasm by SRAP." *Biochemical Systematics and Ecology* 50:139-46.
- Chen, Shuxia, Weifeng Chen, Xiaoqing Shen, Yuting Yang, Fei Qi, Yan Liu, and Huanwen Meng. 2014. "Analysis of the Genetic Diversity of Garlic (*Allium Sativum* L.) by Simple Sequence Repeat and Inter Simple Sequence Repeat Analysis and Agro-Morphological Traits." *Biochemical Systematics and Ecology* 55:260-67.
- Chomatova, S., V. Turcova, and E. Klosova. 1990. Protein Complex and Esterase Isoenzyme Patterns of *Allium sativum* L. Cultivars and Clone-Regenerates. *Biol. Plant.*32:321-331
- Chopra, V. 2005. Mutagenesis: Investigating the process and processing the outcome for crop improvement. *Current Sci.* 89:353-359
- Dhillon, R.S., Saharan, R.P., Jattan, M., Sheokand, R.N., Dalal, V., and Wuehlisch, George V. 2014. Molecular Characterization of Induced Mutagenesis Through Gamma Radiation Using RAPD Markers in *Jatropha curcas* L. *African Journal of Biotechnology*.Vol. 13(7). ISSN: 1684-5315.
- Djajanegara I., Wahyudi P., Widyastuti N., and Harsoyo. (2007). Pengaruh mutasi dengan sinar gamma (⁶⁰Co) terhadap produktivitas jamur tiram abu-abu (*Pleurotus sajur-caju*). *Berk. Penel. Hayati* 13, 57-61.
- Dwimahyani, I. and S. Widiarsih. 2010. "The Effects of Gamma Irradiation on the Growth and Propagation of In-Vitro Chrysanthemum Shoot Explants (Cv. Yellow Puma)." *Atom Indonesia* 36(2):45-49.

- Engeland, R. I. 1991. Growing Great Garlic: The Definitive Guide for Organic Gardeners and Small Farmers. Filaree Farms, Okanogan, WA
- Etoh, T., P.W. Simon. 2002. Diversity fertility and seed production of garlic. p. 101-117. In H.D. Rabinowitch, L. Currah (Eds.). *Allium* Crop Science: Recent Advances. CAB International, Wallingford, UK.
- Figliuolo, G., V. Candido, G. Logozzo, V. Miccolis, and P. L. Spagnolett. Zeuli. 2001. "Genetic Evaluation of Cultivated Garlic Germplasm (*Allium Sativum* L. and *A. Ampeloprasum* L.)." *Euphytica* 121(3):325-34.
- Fritsch, R. M., Y. Salmaki, and M. Joharchi. 2006. "The Genus *Allium* (*Alliaceae*) in Iran : Current State , New Taxa and New Records." *Current* 7(January).
- García-Lampasona, Sandra, Pablo Asprelli, and José Luis Burba. 2012. "Genetic Analysis of a Garlic (*Allium Sativum* L.) Germplasm Collection from Argentina." *Scientia Horticulturae* 138:183-89.
- Gultom, T. 2016. Pengaruh Pemberian Kolkisin Terhadap Jumlah Kromosom Bawang Putih (*Allium sativum*) Lokal Kultival Doulu. *Biodiversitas* 2(3):165-172.
- Hanafiah, D.S., Trikoesoemaningtyas, S. Yahya, and D. Wirnas. 2010. Induced mutations by gamma ray irradiation to Argomulyo soybean. Argomulyo (*Glycine max*). *Nusantara Bioscience* 2:121-125.
- Hardiyanto, Nirmala Devy, and Arry Supriyanto. 2007. "Eksplorasi, Karakterisasi, Dan Evaluasi Beberapa Klon Bawang Putih Lokal." *Jurnal Hortikultura* 17(4):307-13.
- Hardjono, Imam ,dan Rizka Wahyuningrum. 2016. Identifikasi Lahan Pertanian Di Dataran Fluvial Wilayah Kabupaten Kulonprogo Dengan Menggunakan Aplikasi Sistem Informasi Geografi Dan Penginderaan Jauh. *The 3rd Universty Research Colloquium*. 56-69
- Harsanti, Lilik. 2013. Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma Terhadap Pertumbuhan Awal Tanaman Kapas, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR – BATAN Bandung,h.332.
- Harsanti, Lilik and Yulidar Yulidar. 2015. "Pengaruh Irradiasi Sinar Gamma Terhadap Pertumbuhan Awal Tanaman Kedelai (*Glycine Max* (L.) Merrill Varietas Denna 1." *Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir* 59-63.
- Hasbullah, Nor A., Rosna M. Taha, Azani Saleh, and Noraini Mahmad. 2012. "Irradiation Effect on in Vitro Organogenesis, Callus Growth and Plantlet Development of *Gerbera Jamesonii*." *Horticultura Brasileira* 30(2):252-57.
- Hermanto, Rudy, Muhamad Syukur, and . Widodo. 2017. "Pendugaan Ragam Genetik Dan Heritabilitas Karakter Hasil Dan Komponen Hasil Tomat (*Lycopersicum Esculentum* Mill.) Di Dua Lokasi." *Jurnal Hortikultura Indonesia* 8(1):31-38.
- Ishfaq, M., I.A. Nasir, N. Mahmood, M. Saleem. 2012. In vitro induction of mutation in tomato (*Lycopersicum esculentum* L.) cv Roma by using chemical mutagen. *Pak. J. Bot.* 44:311-314.
- Istina, I.N. 2016. Peningkatan produksi bawang merah melalui teknik pemupukan NPK. *Jurnal Agro* 3 (1): 36-42
- Jain, a, Ds Jain, and Dp Chande. 2010. "Formulation of Genetic Algorithm to Generate Good Quality Course Timetable." *International Journal of Innovation, ...* 1(3):248-51.
- Jo, Man Hyun, In Ki Ham, Kyaw Thu Moe, Soon Wook Kwon, Fu Hao Lu, Yong Jin Park, Woon Seob Kim, Mi Kyoung Won, Tae Il Kim, and Eun Mo Lee. 2012. "Classification of Genetic Variation in Garlic (*Allium Sativum* L.) Using SSR Markers." *Australian Journal of Crop Science* 6(4):625-31.
- John W. Dorana,*, Michael R. Zeissb. 2000.

- “Soil Health and Sustainability: Managing the Biotic Component of Soil Quality.” *Applied Soil Ecology* 15 15:3–11.
- Kim, J.-H., Baek, M.-H., Yeoup Chung, B., Wi, S.G., Kim, J.-S., 2004. Alterations in the photosynthetic pigments and antioxidant machineries of red pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings from gamma-irradiated seeds. *J. Plant Biol.* 47, 314–321. <https://doi.org/10.1007/BF03030546>.
- Koul, A. K., and R. N. Gohil. 1970. Causes averting sexual reproduction in *Allium sativum* Linn. *Cytologia* 35:197–202
- Kovács, E., and Keresztes, A. 2002. Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. *Micron*, 33(2): 199–210. doi:10.1016/S0968-4328(01)00012-9. PMID:11567888.
- Kurowska, Marzena, Anna Labocha-Pawłowska, Dominika Gnizda, Mirosław Maluszynski, and Iwona Szarejko. 2012. “Molecular Analysis of Point Mutations in a Barley Genome Exposed to MNU and Gamma Rays.” *Mutation Research - Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 738–739(1):52–70.
- Kusuma A. A, E. Harso Kardhinata, dan Mbue Kata Bangun. 2013. “Adaptasi Beberapa Varietas Bawang Merah (*Allium Ascalonicum* L.) Pada Dataran Rendah Dengan Pemberian Pupuk Kandang Dan NPK.” *Jurnal Online Agroekoteknologi* 1(4):908–19.
- Lee, Gi An, Soon Jae Kwon, Yong Jin Park, Myung Chul Lee, Haeng Hoon Kim, Jae Sun Lee, Sok Young Lee, Jae Gyun Gwag, Chung Kon Kim, and Kyung Ho Ma. 2011. “Cross-Amplification of SSR Markers Developed from *Allium Sativum* to Other *Allium* Species.” *Scientia Horticulturae* 128(4):401–7.
- Lestari, Endang, R. Purnamaningsih, I. Mariska, and Sri Hutami. 2009. “Induksi Keragaman Somaklonal Dengan Iradiasi Sinar Gamma Dan Seleksi in Vitro Kalus Pisang Rajabulu Menggunakan Asam Fusarat, Serta Regenerasi Dan Aklimatisasi Plantlet.” *Berita Biologi* 9(4):411–17.
- Maaß, H. I. and M. Klaas. 1995. “Intraspecific Differentiation of Garlic (*Allium Sativum* L.) by Isozyme and RAPD Markers.” *Theoretical and Applied Genetics* 91:89–97.
- Maluszynski, M., K. Nichterlein, L. van Zanten & B.S. Ahloowalia, 2000. Officially released mutant varieties – the FAO/IAEA Data-base. *Mut Breed Rev* 12: 1–84.
- Makhziah, Sukendah, Yonny Koentjoro (. 2017. “Effect of Gamma Cobalt-60 Radiation to Morphology and Agronomic of Three Maize Cultivar (*Zea Mays* L.)” *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 22(1):41–45.
- Marchesi, G., A. Fuochi and R. Colombi. 1982. The response of three garlic biotypes of ‘bianco piacentino’ to treatments with mutagens (in Italian). *Sementi Elette* 28:17-20. Marcotrigiano,
- Mc. Collum, G.D. 1996. Onion and Allies. In: Simmonds, N.W (ed). *Evolution of Crop Plants*. Longman. London. Pp. 186-190.
- Mojtahedi, N., J.I. Masuda, M. Hiramatsu, N.T.L. Hai, H. Okubo. 2013. Role of temperature in dormancy induction and release in one-year-old seedlings of *Lilium longiflorum* populations. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* 82:63-68.
- Morita, R., Kusaba, M., Iida, S., Yamaguchi, H., Nishio, T. and Nishimura, M. (2009) Molecular characterization of mutations induced by gamma irradiation in rice. *Genes Genet. Syst.* 84, 361–370
- Mudibu, J., K.K.C. Nkongolo, A. Kalonji-Mbuyi, and V.K. Roger. 2012. Effect of gamma irradiation on morpho-agronomic characteristics of soybean soybean (*Glycine max* L.). *Am. J. Plant Sci.* 3:331-337
- Nagananda, G.S., S. Rajath, D. Agarwal, K.R. Mathew, S.S. Rajan. 2013. Induced mutation in callus cell line of

- Daucus carota* L. *Asian J. Plant Sci.* 12:46-50.
- Naito, K., Kusaba, M., Shikazono, N., Takano, T., Tanaka, A., Tanisaka, T. and Nishimura, M. 2005. Transmissible and nontransmissible mutations induced by irradiating *Arabidopsis thaliana* pollen with c-rays and carbon ions. *Genetics*, 169, 881–889.
- Parry, Martin A. J., Pippa J. Madgwick, Carlos Bayon, Katie Tearall, Antonio Hernandez-Lopez, Marcela Baudo, Mariann Rakszegi, Walid Hamada, Adnan Al-Yassin, Hassan Ouabbou, Mustapha Labhilili, and Andrew L. Phillips. 2009. "Mutation Discovery for Crop Improvement." *Journal of Experimental Botany* 60(10):2817–25.
- Plamenov, D., I. Beichev, N. Daskalova, D. Spetson, T. Moraliyski. 2013. Application of a low dose of gamma rays in wheat androgenesis. *Arch. Biol. Sci.* 65:291-296.
- Ramesh, H.L., V.N.Y. Murthy, Munirajappa. 2012. Effect of gamma radiation on morphological and growth parameters of mulberry variety M5. *International Journal of Science and Nature.* 3(2): 447-452
- Ramesh, H.L., V.N.Y. Murthy, Munirajappa. 2014. Induction of useful mutation in mulberry (*Morus*) variety s54 by gamma irradiation in m1 generation. *Amer. J. Exp. Agric.* 4:48-57.
- Romeida, A. 2012. Induksi mutasi dengan iradiasi sinar gamma untuk pengembangan klon unggul anggrek *Spathoglottis plicata* Blume aksesori Bengkulu. [Disertasi]. Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rubatzky, V.E., M. Yamaguchi. 1998. Sayuran Dunia: Prinsip, Produksi, dan Gizi, Jilid 2. Penerbit ITB, Bandung, ID.
- Saidah, A. Imadamayanti, Syafruddin. 2015. Pertumbuhan dan produktivitas beberapa varietas unggul baru dan lokal pada rawa melalui pengelolaan tanaman terpadu di Sulawesi Tenggara. Dalam Prosiding Seminar Nasional Masyarakat. BIODIV Indonesia. 1: 935-940.
- Samijan, T.R. Prastuti, dan Pramono, J. 2011. Intensifikasi Budidaya Bawang Putih. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian: Jawa Tengah.
- Sarwadana, S.M., I.G.A Gunadi. 2007. Potensi pengembangan bawang putih (*Allium sativum* L.) dataran rendah varietas lokal Sanur. *Agritrop* 26(1):19-23.
- Septiyan, D. I. dan Soemarno. 2019. Karakteristik Lahan Untuk Tanaman Bawang Putih (*Allium sativum* L.) Pada Inceptisol Dan Alfisol Di Kecamatan Pujon, Malang. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 6 (2) : 1391-1403
- Shanthi, D., S. Jebaraj, S. Geetha. 2010. In vitro screening for salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *Electronic J. of Plant Breeding* 1:1208-1212.
- Siddiqui, M.W., Bhattacharjya, A., Chakraborty, A., Dhua, R.S., 2011. 6-Benzylaminopurine improves shelf-life, organoleptic quality and health promoting compounds of fresh-cut broccoli florets. *J. Sci. Ind. Res.* 70, 461–465.
- Simon, P.W., R.M. Honan, M.M. Jenderek, R.E. Voss. 2003. Environmental and genetic effect on garlic growth flowering and bulb character. *Hort SCI.* 38:783-730.
- Singh, N.K., H.S. Balyan. 2009. Induced mutation in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Kharchia 65 for reduced plant height and improved grain quality traits. *Adv. Biol. Res.* 3:215-221.
- Singh, A.K., S. Anjana. 2015. Effect of gamma irradiation on morphological changes, flowering and induced mutants in gladiolus. *Indian Journal of Horticulture.* 72(1): 84-87.
- Soedomo. R. P. 1987. Studi Pendahuluan Tentang Pengaruh Radiasi Gamma Pada Pertumbuhan dan Perkembangan Bawang Merah (*Allium ascalonium*) Simposium Aplikasi Isotop dan Radiasi, Jakarta, 16-17

- Soeranto, H., Sihono. 2010. Sorghum breeding for improved drought tolerance using induced mutation with gamma irradiation. *J. Agron. Indonesia* 38:95-99.
- Sumiyarsih, S. dan Aliudin. 1990. Pengaruh sinar gamma ^{60}Co terhadap pertumbuhan dan struktur anatomi daun pada bawang putih. *Bull. Penel. Hort.* 19 (4): 57 -61.
- Sunarjono, H., Yett dan Ety. 1987. Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma Terhadap Pertumbuhan Bawang Merah. Balai Penelitian Hortikultura Lembang. Lembang.
- Suprasanna, P., H. Nakagawa. 2013. Mutation breeding of vegetatively propagated crops. In: Shu, Forster BP, Nakagawa H. editor. *Plant Mutation Breeding and Biotechnology*. Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2012; Rome, Italy, Austria (AT): FAO/IAEA. p. 347-358
- Sutarto, I., N.K. Dewi, Arwin. 2004. Pengaruh iradiasi sinar gamma ^{60}Co terhadap pertumbuhan tanaman bawang putih (*Allium sativum* L.) varietas Lumbu Hijau di dataran rendah. Risalah Seminar Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi.
- Taryono, C. Paramita, and H. Soeranto. 2011. The detection of mutational changes in sorghum using RAPD. *Indonesian J. Biotechnology* 16(1):66-70.
- Ulukapi, Kamile and Ayse Gul Nasircilar. 2015. "Developments of Gamma Ray Application on Mutation Breeding Studies in Recent Years." Pp. 31–34 in *International Conference on Advances in Agricultural, Biological & Environmental Sciences*.
- Vaijapurkar, S.G., Agarwal, D., Chaudhuri, S.K., Senwar, K.R., Bhatnagar, P.K., 2001. Gamma-irradiated onions as a biological indicator of radiation dose. *Radiat. Meas.* 33 (5), 833–836.
- Volk, G.M., A.D. Henk, C.M. Richards. 2004. Diversity of garlic accessions within the national plant germplasm system. *Hort. Sci.* 38:736-741.
- Wi, S.G., Chung, B.Y., Kim, J.S., Kim, J.H., Baek, M.H., Lee, J.W., Kim, Y.S., 2007. Effects of gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants. *Micron* 38, 553–564.
<https://doi.org/10.1016/j.micron.2006.11.002>
- Wisardja, I.P., Lana, W. Dan Rusdianta, I.G.M. 2017. Pertumbuhan dan hasil tanaman bawang putih (*Allium Sativum* L.) varietas Lumbu Putih akibat penggunaan dosis pupuk organik dan kerapatan tanaman. *Majalah Ilmiah Untab* 14(2): 209-215.
- Zepeda. 1997. Number of cloves per bulb selection criteria for garlic improvement. In J.L. Burbn, C.R. Galmarini (Eds.). results with "Chilegno" type. *Proceeding International Symposium Edible Alliaceae Acta. Hort.* 433:265-270.
- Yaycili, Orkun and Sema Alikamanoglu. 2012. "Induction of Salt-Tolerant Potato (*Solanum Tuberosum* L.) Mutants with Gamma Irradiation and Characterization of Genetic Variations via RAPD-PCR Analysis." *Turkish Journal of Biology* 36(4):405–12.
- Younessi, M.H., A. Izadi-Darbandi1, N Pirvali-Beiranvand, M. Taher-Hallajian, and A. Majdabadi. 2011. Phenotypic and molecular analysis of M7 generation of soybean mutant lines through random amplified polymorphic DNA (RAPD) marker and some morphological traits. *African J. Agricultural Research* 6(7):1779-1785.