

Evaluasi Metabolomik Mutan Putatif Bawang Putih (MV3) Hasil Iradiasi Gamma LD50

Metabolomic Evaluation of Garlic Putative Mutant (MV3) from Gamma Irradiation LD50

Utin Winarni¹, Diny Dinarti^{2*}, dan Syarifah Iis Aisyah²

¹Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor

²Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB University), Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

Diterima 22 Oktober 2021/Disetujui 11 Maret 2022

ABSTRACT

The increase in the genetic diversity of garlic can be through artificial mutation breeding using gamma rays. The aim of the experiment was to study the effect of gamma irradiation LD50 dose on growth, production, and content of metabolites of the MV3 generation of garlic genotypes. The research was carried out from May to September 2020 at the Pasir Sarongge Experimental Garden, IPB. The experiment consisted of six mutant populations of garlic genotypes without replication, namely Ciwidey 0 Gy, Ciwidey 6 Gy, Tawangmangu Baru 0 Gy, Tawangmangu Baru 8 Gy, Lumbu Kuning 0 Gy, Lumbu Kuning 10 Gy. Each population had a different number of individuals depending on the availability of planting material from the previous generation. A total of 364 plants were planted in the field for observation of plant growth and production. The results showed that exposure to LD50 doses in all genotypes of garlic decreased tuber diameter and number of cloves compared to controls. The new compounds detected at CW 6 Gy were 2-Hexanol; 2-Hexanol,3,4-dimethyl-; Cyclopentene,1,2,3,3,4-pentamethyl-; Trisulfide,methyl2-propyl. New compounds detected in LK 10 Gy are Butyl isobutyl phthalate; 2-Pentanol, 2-methyl-; Ether,2-chloro-1-methylethyl isopropyl; Hentriacontane; Isoamyl lactate. New compounds detected in 8 Gy TMB; Cyclopentene, 1,2, 3,3,4-pentamethyl-; Decane; 3-Vinyl-1,2-dithiacyclohex-4-ene; Diallyl disulphide.

Keywords: allicin, antimicrobial, GC-MS, metabolomics, mutant

ABSTRAK

Peningkatan keragaman genetik bawang putih dapat melalui pemuliaan mutasi buatan menggunakan sinar gamma. Penelitian bertujuan untuk mempelajari pengaruh dosis iradiasi gamma pada LD50 terhadap pertumbuhan, produksi, dan kandungan senyawa metabolit generasi MV3 tiga genotipe bawang putih. Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei sampai September 2020 di Kebun Percobaan Pasir Sarongge IPB. Percobaan terdiri atas enam populasi mutan bawang putih tanpa ulangan, yaitu Ciwidey 0 Gy, Ciwidey 6 Gy, Tawangmangu Baru 0 Gy, Tawangmangu Baru 8 Gy, Lumbu Kuning 0 Gy, Lumbu Kuning 10 Gy. Setiap populasi memiliki jumlah individu yang berbeda tergantung ketersediaan bahan tanam dari generasi sebelumnya. Total 364 tanaman yang diuji tersebut diamati pertumbuhan dan produksi tanaman. Hasil penelitian paparan dosis LD50 pada semua genotipe bawang putih menurunkan diameter umbi, jumlah siung dibandingkan kontrol. Senyawa baru yang terdeteksi pada CW 6 Gy yaitu 2-Hexanol; 2-Hexanol, 3,4-dimethyl-; Cyclopentene, 1,2,3,3,4-pentamethyl-; Trisulfide, methyl 2-propenyl. Senyawa baru yang terdeteksi pada LK 10 Gy yaitu Butyl isobutyl phthalate; 2-Pentanol, 2-methyl-; Ether, 2-chloro-1-methylethyl isopropyl; Hentriacontane; Isoamyl lactate. Senyawa baru yang terdeteksi pada TMB 8 Gy yaitu; Cyclopentene, 1,2,3,3,4-pentamethyl-; Decane; 3-Vinyl-1,2-dithiacyclohex-4-ene; Diallyl disulphide.

Kata kunci: allicin, antimikroba, GC-MS, metabolomik, mutan

PENDAHULUAN

Bawang putih merupakan tanaman diploid ($2n = 16$) yang dapat diperbanyak secara vegetatif, sehingga keragamannya sempit (Sutarto *et al.*, 2004). Koul *et al.* (1979) menyarankan penggunaan teknik mutasi buatan

untuk perbaikan genetik varietas bawang putih. Peningkatan keragaman genetik bawang putih dapat melalui pemuliaan mutasi secara alami atau mutasi induksi (Syukur *et al.*, 2015). Rahimi dan Bahrani (2011) menyatakan, sinar gamma dapat menyebabkan perubahan struktur tumbuh dan metabolisme pada tanaman. Perubahan pada genetik atau susunan DNA akibat mutasi mampu mengubah fenotipik dan metabolisme tanaman yang dapat menyebabkan perubahan pada kadar serta kandungan senyawa bioaktif (Kovacs dan

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: dinyagh@apps.ipb.ac.id

Keresztes 2002). Perubahan yang terjadi pada gen akibat mutasi mempengaruhi produksi enzim dan protein (Viana *et al.*, 2019). Kandungan senyawa bioktif pada bawang putih dapat ditingkatkan melalui mutasi fisik salah satunya menggunakan mutagen sinar gamma (Kebeish *et al.*, 2015). Mutan putatif merupakan hasil mutasi yang berbeda dari tanaman tetuanya yang dapat digunakan untuk meningkatkan keragaman dan dapat dijadikan sumber bahan tanam untuk pemuliaan (Hayati *et al.*, 2017). Iradiasi gamma yang banyak menghasilkan mutan putatif umumnya pada kisaran paparan *Lethal Dose 50* (LD50) yang merupakan paparan dosis yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman atau menyebabkan kematian 50% pada populasi yang diradiasi (Aisyah *et al.* 2009). Paparan LD50 dapat menghasilkan varian mutan yang maksimal dan meminimalkan mutan yang tidak diinginkan (Rahman dan Aisyah, 2018).

Bawang putih memiliki 33 komponen sulfur yang lebih tinggi pada spesies *Allium* lainnya, komponen sulfur memberikan aroma khas dan berbagai efek obat dari bawang putih (Londhe, 2011). Dua senyawa organosulfur paling penting dalam umbi bawang putih, yaitu asam amino non-volatil γ -glutamil-Salk(en)il-L-sistein dan minyak atsiri S-alk(en)ilsistein sulfoksida atau alliin (Chairunnisa, 2019). Beberapa penelitian melaporkan umbi bawang putih menghasilkan beberapa senyawa bioaktif dengan peran penting yaitu sebagai antibakteri, antikanker, anti-implamasi dan antioksidan. Kim *et al.* (2011), menyatakan bahwa komponen aktif suatu bahan dapat diidentifikasi menggunakan metode metabolomik secara kuantitatif dan kualitatif. Metode ini telah digunakan untuk mengidentifikasi senyawa volatil pada bawang putih (Kim *et al.*, 2011). Penelitian pendekatan metabolomik telah dilakukan oleh Sudrajat *et al.* (2019) yang mengidentifikasi komponen bioaktif pada ekstrak daun bawang putih menggunakan gas chromatographi-mass spectrometry (GC-MS). Informasi mengenai komponen senyawa aktif dari mutan putatif tiga genotipe bawang putih penting diketahui untuk memperoleh mutan unggul yang diinginkan guna memperluas genetik bawang putih. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh paparan dosis iradiasi gamma pada LD50 terhadap pertumbuhan, produksi, dan kandungan senyawa metabolit generasi MV3 dari tiga genotipe bawang putih.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada Mei sampai September 2020. Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Pasir Sarongge IPB (1,230 mdpl), kecamatan Pacet kabupaten Cianjur, Jawa Barat. Pengujian kandungan senyawa metabolit dilakukan pada Lab jasa Pusat Penelitian Kimia LIPI Serpong, Banten. Penelitian ini adalah penelitian lanjutan dari Pangestuti *et al.* (2020) dengan teknik tunggal (*acute radiation*) pada tiga genotipe bawang putih. Iradiasi sinar gamma dilakukan pada MV0 dan penentuan LD50 dilakukan pada generasi MV1 (Pangestuti *et al.*, 2020). Hasil penelitian Pangestuti *et al.* (2020) dosis LD50 pada tiga genotipe bawang putih yaitu Lumbu Kuning (LK 10 Gy), Tawangmangu Baru (TMB 8 Gy) dan Ciwidey (CW

6 Gy). Bahan tanam yang digunakan adalah tiga genotipe bawang putih MV2 perbanyakkan yang ditanam kembali. Generasi MV2 yang ditanam yaitu Lumbu Kuning (LK 10 Gy), Tawangmangu Baru (TMB 8 Gy) dan Ciwidey (CW 6 Gy) sedangkan genotipe pembanding tidak mendapat perlakuan iradiasi sinar gamma (0 Gy).

Bahan yang digunakan di lapang yaitu kapur, pupuk (NPK Mutiara, ZA dan Phonska, pakan sapi), Karbofuran, Atonik, mulsa plastik. Bahan kimia yang digunakan yaitu etanol dengan konsentrasi 70%. Alat yang digunakan yaitu oven, mortar, corong, kertas saring, tabung reaksi, vorteks, Perangkat Kromatografi Gas Spektrofotometri Massal (GC-MS), Shimadzu.

Rancangan Percobaan dan Persiapan Sampel

Percobaan terdiri atas enam populasi mutan bawang putih tanpa ulangan, yaitu Ciwidey 0 Gy (CW 0 Gy), Ciwidey 6 Gy (CW 6 Gy), Tawangmangu Baru 0 Gy (TMB 0 Gy), Tawangmangu Baru 8 Gy (TMB 8 Gy), Lumbu Kuning 0 Gy (LK 0 Gy), Lumbu Kuning 10 Gy (LK 10 Gy). Setiap populasi memiliki jumlah individu yang berbeda tergantung ketersediaan bahan tanam dari generasi sebelumnya. Populasi tanaman setiap perlakuan adalah Ciwidey 0 Gy terdapat 51 tanaman, Ciwidey 6 Gy terdapat 62 tanaman, Tawangmangu Baru 0 Gy terdapat 80 tanaman, Tawangmangu Baru 8 Gy terdapat 40 tanaman, Lumbu Kuning 0 Gy terdapat 78 tanaman, dan Lumbu Kuning 10 Gy terdapat 53 tanaman. Total 364 tanaman yang ditanam dilakukan pengamatan pertumbuhan pada fase awal pembentukan umbi. Karakter pertumbuhan yang diamati adalah tinggi tanaman dan jumlah daun. Pengamatan karakter umbi dilakukan setelah panen pada karakter diameter umbi, jumlah siung per tanaman, bobot per umbi. Persiapan sampel untuk analisis senyawa metabolit sekunder diambil 5 tanaman setiap perlakuan yang memiliki umbi besar dan antosianin pada kulit ari. Sampel bawang putih segar tersebut dibersihkan dan dilakukan pemecahan siung dari umbi lalu dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 50 °C selama 24 jam. Bawang putih yang sudah kering dihaluskan menggunakan mortar kemudian ditimbang sebanyak 2 g lalu direndam menggunakan pelarut etanol dengan konsentrasi 70% masing-masing sampel sebanyak 20 mL. Proses maserasi dilakukan selama 48 dengan difortex setiap 1 jam sekali (Razavi dan Kenari, 2016). Endapan bawang putih dipisahkan dari pelarut etanol dengan disaring menggunakan kertas saring. Sampel ekstrak bawang putih diinjeksi ke dalam septum sebanyak 1 μ l. kemudian dianalisis dengan menggunakan Agilent HP-5MS (30 m x 250 μ m x 0.25 μ m film 5% Phenyl Methyl Silox). Sampel disuntikkan dengan metode splitless dengan suhu awal oven 40 °C selama satu menit kemudian suhu dinaikan 10 °C per menit hingga suhu 300 °C dan ditahan 4 menit, pressure 48.7 kPa, total flow 104.0 mL per menit, colum flow 3.0 0 mL per menit, purge flow 100.0 0 mL per menit. Jalur transfer MSD diadakan pada 270 °C, dan penganalisis massa pada 150 °C. Data diperoleh 650 menit pada laju pemindaian normal dalam kisaran massa 30-600Da.

Analisis Data

Analisis karakter pertumbuhan dan produksi menggunakan uji t-test dengan seluruh tanaman dilakukan pengamatan pada setiap perlakuan. Uji t-test menggunakan perangkat lunak Minitab 17. Komponen non-target metabolit diidentifikasi dengan mencocokkan spektrum massa pada database WILEY 7 LB. Konfirmasi nama senyawa putatif menggunakan database online PubChem di NCBI (<http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>). Dataset dari nilai konsentrasi masing masing senyawa putatif ditransformasikan dengan log2 untuk mendapatkan data yang dinormalisasi. Matriks data divisualisasi dengan heatmap dendrogram dari matrik non-target metabolit pada mutan putatif dianalisis menggunakan software R paket metabolomic. HCA menggunakan metode *complete linkage agglomerative method* (aglomerasi keterkaitan lengkap).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian pemberian iradiasi sinar gamma pada genotipe CW 6 Gy untuk karakter tinggi tanaman menunjukkan berbeda nyata lebih tinggi dibandingkan dengan tinggi tanaman kontrol (Tabel 1). Pengamatan karakter jumlah daun pada genotipe CW 6 Gy memiliki jumlah daun lebih banyak dibandingkan dengan kontrol. Hasil ini sesuai dengan penelitian Kurniajati *et al.* (2021) bahwa pemberian iradiasi gamma pada umbi dapat meningkatkan panjang dan jumlah daun dibandingkan dengan tanaman kontrol. Iradiasi gamma pada kisaran dosis LD50 mengakibatkan kerusakan fisiologis dan kematian 50% tanaman namun sepadan dengan perubahan genetik yang diperoleh (Zanzibar dan Witjaksono, 2011).

Respon pertumbuhan pada perlakuan LK10 Gy menunjukkan tinggi yang sangat berbeda nyata lebih rendah dibandingkan tinggi tanaman kontrol dan memiliki jumlah daun yang tidak nyata dengan jumlah daun kontrol. Hal ini menunjukkan pemberian dosis iradiasi yang tinggi pada umbi bawang putih mengakibatkan pertumbuhannya menjadi lambat karena adanya perubahan metabolisme dan mengakibatkan terganggunya sintesis protein yang berperan dalam pertumbuhan tanaman. Hal ini sesuai

dengan penelitian Sinuraya *et al.* (2017) bahwa semakin tinggi dosis radiasi akan semakin menekan pertumbuhan. Penurunan tinggi tanaman karena pengaruh pemberian dosis tinggi merupakan akibat adanya gangguan fisiologis atau kerusakan kromosom yang disebabkan oleh pemberian mutagen (iradiasi gamma) (Gultom *et al.*, 2020).

Pertumbuhan tanaman pada perlakuan TMB 8 Gy menunjukkan tinggi tanaman berbeda nyata lebih rendah daripada TMB 0 Gy dan memiliki jumlah daun tidak nyata dengan TMB 0 Gy (Tabel 1). Hal ini diduga ada pengaruh dari tingkat sensitivitas umbi bawang putih yang tinggi terhadap paparan iradiasi gamma pada kisaran dosis LD50 yang mampu mengakibatkan kerusakan genetik dan fisiologi tanaman. Radio sensitivitas tanaman adalah tolok ukur keberhasilan untuk meningkatkan keragaman melalui mutasi yang dapat diukur melalui letal dosis (LD50) (Yelni *et al.*, 2019). Radio sensitivitas dapat dilihat dari adanya hambatan pertumbuhan, kematian tanaman, patahan kromosom, ukuran dan jumlah kromosom (Bermawie *et al.*, 2018). Hal ini sesuai dengan penelitian Amjad dan Anjum (2002), iradiasi gamma mengganggu pembelahan sel menyebabkan perubahan fisiologis, menghambat pertumbuhan tanaman dan memunculkan perubahan fenotipe. Perubahan ini terjadi karena iradiasi sinar gamma memblokir sintesis auksin yang diperlukan untuk pembentukan DNA (Qosim, 2006).

Paparan dosis LD50 pada ketiga genotipe bawang putih (Tabel 1) menunjukkan respon yang sama terhadap penurunan diameter umbi yang signifikan dibandingkan tanaman kontrol. Pengamatan pada karakter jumlah siung siung kisaran dosis LD50 (Tabel 1) pada genotipe CW 6 Gy dan TMB 8 Gy memiliki jumlah siung lebih sedikit dibandingkan jumlah siung tanaman kontrol. Genotipe LK 10 Gy menunjukkan jumlah siung tidak berbeda nyata dengan kontrol. Penurunan diameter umbi dan jumlah siung dalam penelitian ini diduga adanya efek iradiasi gamma pada dosis tinggi. Pemberian iradiasi sinar gamma dengan dosis 120 Gy menghambat pertumbuhan tinggi tanaman sebesar 50% dibandingkan tanpa iradiasi (Kebeish *et al.*, 2015). Hasil ini sesuai dengan penelitian Gultom *et al.* (2020) pemberian iradiasi 8 Gy menurunkan diameter dan jumlah daun tanaman pada bawang putih kultivar Doulu. Iradiasi gamma yang berinteraksi dengan kromosom dapat mengakibatkan

Tabel 1. Karakter pertumbuhan dan produksi tiga genotipe bawang putih pada 60 HST

Genotipe	Gray	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah daun per tanaman	Diameter umbi (cm)	Jumlah siung per umbi	Bobot per umbi (g)
Ciwidey	0	47.5	5.7	39.3	5.5	21.9
	6	51.9**	6.1*	34.8**	3.9**	19.5
Lumbu Kuning	0	50.9	6.3	39.5	3.5	25.2
	10	45.9**	6.1	34.3**	3.5	23.8
Tawangmangu Baru	0	47.2	6.4	38.9	5.2	19.9
	8	44.3**	6.1	30.3**	2.7**	17.7

Keterangan: *,** = masing-masing berbeda nyata dan sangat nyata dengan populasi kontrol (0 Gy) pada taraf $\alpha = 5\%$ berdasarkan uji t; HST = hari setelah tanam

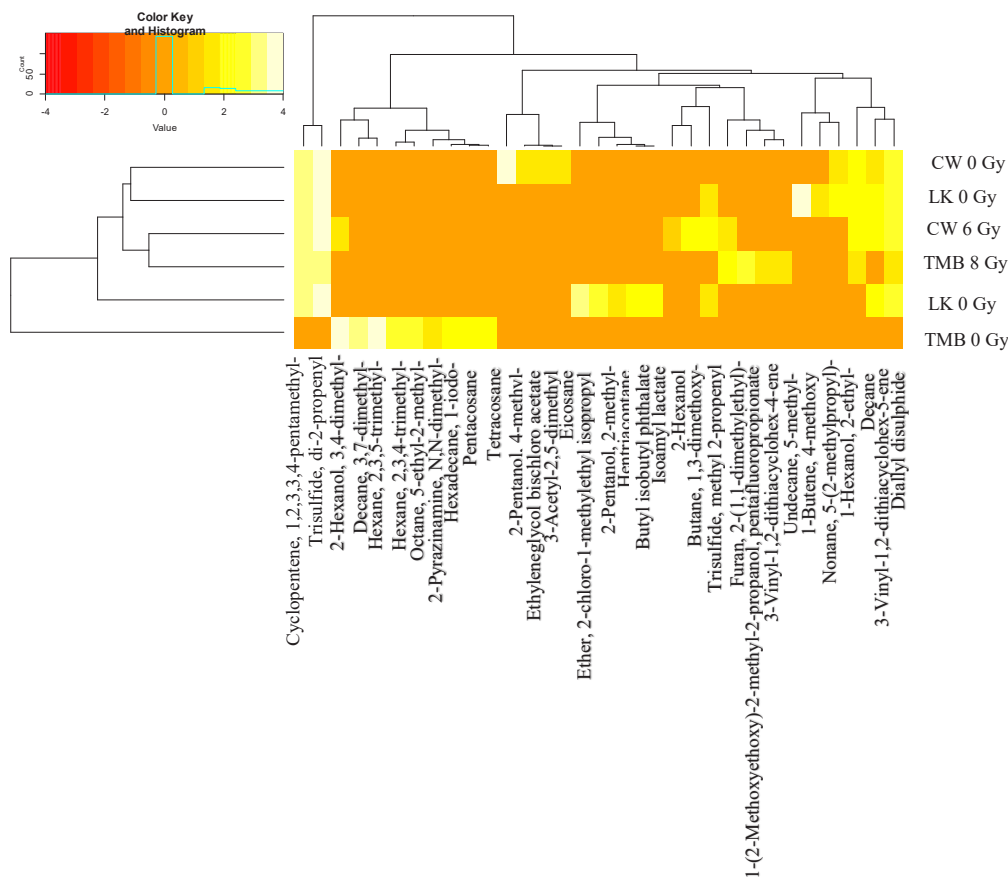
kerusakan struktur kromosom. Kromosom terdiri dari gen gen yang bertanggung jawab atas pengendalian sifat-sifat yang diturunkan dari tetua ke generasi selanjutnya (Gultom *et al.*, 2020).

Tiga genotipe bawang putih kisaran dosis LD50 menunjukkan respon tidak berbeda nyata dengan bobot umbi tanaman kontrol. Hal ini ditunjukkan pada kisaran dosis LD50 tidak menghasilkan keragaman pada bobot umbi (Tabel 1). Hal ini diduga pada kisaran LD50 dalam penelitian ini belum mampu menghasilkan umbi yang maksimal. Pada lapisan luar umbi terbentuk kulit umbi namun pada bagian dalamnya masih berbentuk pseudostem, ketika dipanen umbinya kopong. Pemberian iradiasi gamma mengakibatkan kerusakan fisiologis seperti menghambat pertumbuhan dan menurunkan bobot umbi (Batubara *et al.*, 2019). Pemberian iradiasi gamma diduga menyebabkan kerusakan fisiologis yang berpengaruh pada kemampuan tumbuh dan pembentukan organ tanaman (Kebeish *et al.*, 2015).

Hasil analisis heatmap menunjukkan pengelompokan berdasarkan kandungan senyawa metabolit pada genotipe mutan putatif tersebut. Hasil dari heatmap (Gambar 1) menunjukkan bahwa genotipe mutan putatif bawang putih mengelompok ke dalam dua klaster besar. Klaster I terdiri atas satu genotipe yaitu TMB 0. Klaster II terdiri atas empat genotipe yaitu CW 0 Gy, LK 0 Gy, LK 10 Gy, CW 6 Gy, dan TMB 8 Gy.

Senyawa metabolit dari mutan putatif bawang putih mengelompok kedalam dua kluster besar (Tabel 2). Kluster I terdiri atas satu senyawa yaitu Trisulfide, di-2-propenyl. Kluster II terdapat dua sub kluster, kluster II a terdiri atas 9 senyawa senyawa yaitu 2-Hexanol; 2-Pyrazinamine, N,N-dimethyl-; Decane, 3,7-dimethyl-; Hexadecane, 1-iodo-; Hexane, 2,3,4-trimethyl-; Hexane, 2,3,5-trimethyl-; Nonane, 5-(2-methylpropyl)-; Pentacosane; Tetracosane sedangkan kluster II b terdapat 23 senyawa metabolit (Tabel 2).

Hasil dari penelitian ini diperoleh mutan putatif dengan beberapa senyawa bioaktif yang belum diketahui aktivitas biologinya dan diperoleh senyawa-senyawa bioaktif yang memiliki aktivitas biologis, salah satunya-senyawa allicin dan turunannya yang berguna dalam bidang farmakologi. Beberapa senyawa turunan allicin yaitu 3-Vinyl-1,2-dithiacyclohex-5-ene berfungsi antioyidan dan antimikroba (Dethier *et al.*, 2013), Diallyl disulphide sebagai antikarsiogenik (Yi dan Su, 2013), Trisulfide, di-2-propenyl dan Trisulfide, methyl 2-propenyl berfungsi untuk antikanker dan antibiotik (Münchberg *et al.*, 2007). Kandungan Diallyl disulphide pada genotipe CW 6 Gy lebih tinggi dengan 5.9% dibandingkan genotipe CW 0 Gy. Senyawa Trisulfide, di-2-propenyl paling tinggi terdapat pada CW 6 Gy (16.1%) dan senyawa Trisulfide, methyl 2-propenyl hanya ditemukan pada genotipe CW 6 Gy (4.7%). Pada mutan putatif TMB 8 Gy terdapat senyawa yang tidak ditemukan pada genotipe TMB 0 Gy yaitu 3-Vinyl-1,2-



Gambar 1. Heatmap klastering dari kandungan metabolit pada genotipe mutan putatif bawang putih

Tabel 2. Klastering kandungan metabolit pada genotipe mutan putatif bawang putih

Nama senyawa	Klaster	Nama senyawa	Klaster
Cyclopentene, 1,2,3,3,4-pentamethyl-	1	2-Pentanol, 2-methyl-	2b
Trisulfide, di-2-propenyl	1	2-Pentanol, 4-methyl-	2b
2-Hexanol	2a	3-Acetyl-2,5-dimethyl furan	2b
2-Pyrazinamine, N,N-dimethyl-	2a	3-Vinyl-1,2-dithiacyclohex-4-ene	2b
Decane, 3,7-dimethyl-	2a	3-Vinyl-1,2-dithiacyclohex-5-ene	2b
Hexadecane, 1-iodo-	2a	Butane, 1,3-dimethoxy-	2b
Hexane, 2,3,4-trimethyl-	2a	Decane	2b
Hexane, 2,3,5-trimethyl-	2a	Diallyl disulphide	2b
Nonane, 5-(2-methylpropyl)-	2a	Eicosane	2b
Pentacosane	2a	Ether, 2-chloro-1-methylethyl isopropyl	2b
Tetracosane	2a	Ethylene glycol bischloro acetate	2b
butyl isobutyl phthalate	2b	Furan, 2-(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-	2b
1-(2-Methoxyethoxy)-2-methyl-2-propanol, pentafluoropropionate	2b	Hentriacontane	2b
1-Butene, 4-methoxy	2b	Isoamyl lactate	2b
1-Hexanol, 2-ethyl-	2b	Octane, 5-ethyl-2-methyl-	2b
2-Hexanol, 3,4-dimethyl-	2b	Trisulfide, methyl 2-propenyl	2b
2-Methyl-7-phenylindole	2b	Undecane, 5-methyl-	2b

dithiacyclohex-4-ene (2.7%), Diallyl disulphide (3.0%), Trisulfide, di-2-propenyl (7.8 %) yang bermanfaat sebagai antioksidan, antimikroba, antikanker, antifungi, dan antibakteri (Kim *et al.*, 2011).

Genotipe LK 0 Gy dan 10 Gy ditemukan senyawa 3-Vinyl-1,2-dithiacyclohex-5-ene dengan total masing-masing 4.2%. Senyawa Diallyl disulphide ditemukan pada genotipe LK 0 Gy dengan kandungan 5.8% sedangkan menurun pada mutan putatif LK 10 Gy sebesar 5.4%. Hal yang terjadi pada senyawa Trisulfide, di-2-propenyl memiliki kandungan lebih rendah pada mutan putatif 10 Gy dibandingkan genotipe LK 0 Gy (Tabel 3). Senyawa Trisulfide, methyl 2-propenyl pada LK 10 Gy lebih tinggi dibandingkan LK 0 Gy (Tabel 2). Senyawa 2-pentanol, 2-methyl- dengan kandungan (5.3%) sebagai antifungi (Petre dan Tanase, 2017) hanya ditemukan pada LK10 Gy. Senyawa Hentriacontane (3.5%) hanya ditemukan pada genotipe LK 10 Gy dengan fungsi anti tumor dan inflamasi (Kim *et al.*, 2011). Senyawa 1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl 2-methylpropyl ester ditemukan pada LK 10 Gy sebagai antimikroba (Shettima *et al.*, 2013).

Keragaman senyawa metabolit yang dihasilkan oleh mutan putatif bawang putih diduga efek pemberian iradiasi sinar gamma dengan dosis tertentu. Iradiasi gamma dapat menginduksi stres pada sel bawang putih dengan peningkatan kandungan prolin (Noreen dan Ashraf, 2009). Radiasi gamma dapat menyebabkan mutasi, hal tersebut karena sel yang diiradiasi akan terbebani oleh energi kinetik tinggi sehingga mampu mengubah reaksi kimia sel tanaman sehingga terjadi perubahan susunan kromosom dan mengakibatkan perubahan senyawa metabolit yang dihasilkan (Sutapa dan Kasmawan, 2016). Penelitian ini menunjukkan terdapat

beberapa senyawa yang hanya muncul pada dosis iradiasi tertentu. Pada genotipe CW 6 Gy ditemukan 5 senyawa yang tidak ditemukan pada CW 0 Gy yaitu 2-Hexanol; 2-Hexanol, 3,4-dimethyl-; Cyclopentene, 1,2,3,3,4-pentamethyl-; Furan, 2-(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-; Trisulfide, methyl 2-propenyl (Tabel 3). Hal yang sama terjadi pada LK 10 Gy, ditemukan 5 senyawa baru yang tidak ditemukan pada LK 0 Gy yaitu Butyl isobutyl phthalate; 2-Pentanol, 2-methyl-; Ether, 2-chloro-1-methylethyl isopropyl; Hentriacontane; Isoamyl lactate. Senyawa metabolit pada TMB 8 Gy ditemukan senyawa baru yang tidak terdapat pada TMB 0 Gy yaitu 1-(2-Methoxyethoxy)-2-methyl-2-propanol, pentafluoropropionate; Cyclopentene, 1,2,3,3,4-pentamethyl-; Decane; 3-Vinyl-1,2-dithiacyclohex-4-ene; Diallyl disulphide; Undecane, 5-methyl-. 3-Vinyl-1,2-dithiacyclohex-4-ene dan Diallyl disulphide merupakan golongan senyawa organosulfur dengan jalur pembentukan Thiosulfinat. Alisin yang dihasilkan dari jalur pembentukan thiosulfinat akan berubah menjadi alil akibat metode ekstraksi yang dilakukan dalam persiapan sampel (Zhang, 1999).

Pola pengaruh paparan iradiasi terhadap kandungan senyawa metabolit yang dihasilkan tiap genotipe mutan berbeda-beda. Kandungan senyawa Trisulfide, di-2-propenyl memiliki pola yang berbeda pada setiap genotipe. Pada genotipe CW dan TMB memiliki pola meningkat sedangkan, pola menurun pada genotipe LK seiring bertambahnya dosis radiasi. Pola kandungan senyawa senyawa Trisulfide, di-2-propenyl pada genotipe LK sesuai dengan hasil penelitian Kebeish *et al.* (2015), yang menyatakan peningkatan dosis iradiasi menurunkan ekspresi gen Allinase (ACTIN2) sehingga kandungan senyawa allicin nya seakin rendah.

Tabel 3. Kandungan senyawa metabolit pada genotipe mutan putatif bawang putih

Senyawa metabolit	Kandungan (%)					
	CW 0 Gy	CW 6 Gy	LK 0 Gy	LK 10 Gy	TMB 0 Gy	TMB 8 Gy
1-(2-Methoxyethoxy)-2-methyl-2-propanol, pentafluoropropionate	-	-	-	-	-	5.7
butyl isobutyl phthalate	-	-	-	3.8	-	-
1-Butene, 4-methoxy	-	-	12.6	-	-	-
1-Hexanol, 2-ethyl-	3	-	3.8	-	-	-
2-Hexanol	-	1.8	-	-	-	-
2-Hexanol, 3,4-dimethyl-	-	3.5	-	-	11.3	-
2-Pentanol, 2-methyl-	-	-	-	5.3	-	-
2-Pentanol, 4-methyl-	14.5	-	-	-	-	-
2-Pyrazinamine, N,N-dimethyl-	-	-	-	-	3.0	-
3-Acetyl-2,5-dimethyl furan	3.2	-	-	-	-	-
3-Vinyl-1,2-dithiacyclohex-4-ene	-	-	-	-	-	2.7
3-Vinyl-1,2-dithiacyclohex-5-ene	3.6	4.1	4.2	4.2	-	-
Butane, 1,3-dimethoxy-	-	4.8	-	-	-	-
Cyclopentene, 1,2,3,3,4-pentamethyl-	9.1	9.7	7.9	10.4	-	10.1
Decane	4.0	3.7	3.8	-	-	3.3
Decane, 3,7-dimethyl-	-	-	-	-	8.9	-
Diallyl disulphide	5.8	5.9	5.8	5.4	-	3.0
Eicosane	3.2	-	-	-	-	-
Ether, 2-chloro-1-methylethyl isopropyl	-	-	-	10.9	-	-
Ethyleneglycol bischloro acetate	3.1	-	-	-	-	-
Furan, 2-(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-	-	3.3	-	-	1.1	3.7
Hentriacontane	-	-	-	3.5	-	-
Hexadecane, 1-iodo-	-	-	-	-	3.7	-
Hexane, 2,3,4-trimethyl-	-	-	-	-	5.3	-
Hexane, 2,3,5-trimethyl-	-	-	-	-	13.2	-
Isoamyl lactate	-	-	-	3.8	-	-
Nonane, 5-(2-methylpropyl)-	-	-	2.9	-	-	-
Octane, 5-ethyl-2-methyl-	-	-	-	-	6.3	-
Pentacosane	-	-	-	-	3.9	-
Tetracosane	-	-	-	-	4.0	-
Trisulfide, di-2-propenyl	13.4	16.1	14.9	14.4	0.9	7.8
Trisulfide, methyl 2-propenyl	-	4.7	2.8	3.6	-	-
Undecane, 5-methyl-	-	-	-	-	-	3.6

KESIMPULAN

Paparan dosis LD50 meningkatkan tinggi tanaman dan jumlah daun pada Ciwiday sedangkan pada genotipe LK dan TMB menurunkan tinggi tanaman dan jumlah daun. Paparan dosis LD50 menurunkan diameter umbi dan jumlah siung per umbi pada semua genotipe. Perlakuan paparan dosis LD50 meningkatkan keragaman senyawa metabolit,

pada CW 6 Gy dan LK 10 Gy yaitu 5 senyawa sedangkan pada TMB terdapat 6 senyawa baru. Senyawa baru yang terdeteksi pada CW 6 Gy yaitu 2-Hexanol; 2-Hexanol, 3,4-dimethyl-; Cyclopentene, 1,2,3,3,4-pentamethyl-; Furan, 2-(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-; Trisulfide, methyl 2-propenyl. Senyawa baru yang terdeteksi pada LK 10 Gy yaitu Butyl isobutyl phthalate; 2-Pentanol, 2-methyl-; Ether, 2-chloro-1-methylethyl isopropyl; Hentriacontane;

Isoamyl lactate. Senyawa baru yang terdeteksi pada TMB 8 Gy yaitu 1-(2-Methoxyethoxy)-2-methyl-2-propanol, pentafluoropropionate; Cyclopentene, 1,2,3,3,4-pentamethyl-; Decane; 3-Vinyl-1,2-dithiacyclohex-4-ene; Diallyl disulphide

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, S.I., H. Aswidinnor, A. Saefuddin . 2009. Induksi mutasi stek pucuk anyelir (*Dianthus caryophyllus* Linn.). J. Agron. Indonesia 37:62-70.
- Amjad, M., M.A. Anjum. 2002. Effect of gamma radiation on onion seed viability, germination potential, seedling growth and morphology. Pakistan J. Agric. Res. 39:202-206.
- Batubara, A.U., Mariati, F.E.T. Sitepu. 2019. Karakter pertumbuhan bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) varietas lokal samosir pada beberapa dosis iradiasi sinar gamma. J. Online Agroekoteknologi 1:105-112.
- Bermawie, N., N. Ma'mun, S. Purwiyanti, W. Lukman. 2018. Selection of nutmeg mother trees in the germplasm collection at cicurug experimental station Sukabumi. Bul. Penelit. Tanam. Rempah dan Obat 29:21-36. Doi:10.21082/bullitro.v29n1.2018.21-36.
- Chairunnisa, O.P. 2019. Efek bawang putih (*Allium Sativum* L) sebagai pengobatan penyakit jantung koroner. J. Ilm. Kesehat. Sandi Husada 10:250-254. Doi: 10.35816/jiskh.v10i2.160.
- Dethier, B., E. Hanon, S. Maayoufi, K. Nott, M.L. Fauconnier. 2013. Optimization of the formation of vinyl dithiols, therapeutic compounds from garlic. Eur. Food Res. Technol. 237:83-88. Doi:10.1007/s00217-013-2012-z.
- Gultom, T., D.L. Simbolon, W.S. Nainggolan. 2020. Effect of gamma rays on phenotypic of garlic cultivar doulu. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 725. Doi: 10.1088/1757-899X/725/1/012081.
- Hayati, D., Aisyah, S.I., krisantini. 2017. Mutagenesis in vitro tunas celosia cristata menggunakan iradiasi sinar gamma untuk meningkatkan keragaman genetik. Thesis. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Kebeish, R., E. Deef, N. El-Bialy. 2015. Effect of gamma radiation on growth, oxidative stress, antioxidant system, and alliin producing gene transcripts in *Allium sativum*. Int. J. Res. Stud. Biosci. 3:161-174.
- Kim, N.Y., M.H. Park, E.Y. Jang, J. Lee. 2011. Volatile distribution in garlic (*Allium sativum* L.) by solid phase microextraction (SPME) with different processing conditions 20:775-782. Doi:10.1007/s10068-011-0108-4.
- Koul, A.K., R.N. Gohil, A. Langer. 1979. Prospect of breeding improved garlic in the light of its genetic and breeding systems. Euphytica. 28:457-464.
- Kovacs, E., A. Keresztes. 2002. Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. Micron. 33:199-210.
- Kurniajati, W.S., Sobir, S.I. Aisyah. 2021. Penentuan dosis iradiasi sinar gamma dalam meningkatkan keragaman untuk perbaikan karakter kuantitatif bawang merah (*Allium cepa*). J. Ilm. Apl. Isot. Radiasi. 16:83-90. Doi:10.17146/jair.2020.16.2.5962.
- Londhe, V.P., A.T. Gavasane, S.S. Nipate, D.D. Bandawane, P.D. Chaudhari. 2011. Role of garlic (*Allium sativum*) in various disease. J. Pharm. Res. Opinion.1:129.
- Münchberg, U., A. Anwar, S. Mecklenburg, C. Jacob. 2007. Polysulfides as biologically active ingredients of garlic. Org. Biomol. Chem. 5:1505-1518. Doi: 10.1039/b703832a.
- Noreen, Z., M. Ashraf. 2009. Changes in antioxidant enzymes and some key metabolites in some genetically diverse cultivars of radish (*Raphanus sativus* L). Environ. Exp. Bot. 67:395-402. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2009.05.011.
- Qosim, W.A. 2006. Studi iradiasi sinar gamma pada kultur kalus nodular manggis untuk meningkatkan keragaman genetik dan morfologi regeneran. Disertasi. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Pangestuti, P.W., S. Sudarsono, D. Dinarti,. 2020. Determine the effect of gamma irradiation towards the growth of two local garlic genotypes. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 497(1). Doi:10.1088/1755-1315/497/1/012014.
- Petre, C.V., C. Tanase. 2018. Changes in morphology and growth rate of fusarium solani colonies exposed to volatile compounds synthesized by wood-rotting basidiomycetes. J. Plant Dev. 25:107-118. Doi: 10.33628/jpd.2018.25.1.107.
- Rahimi, M.M., A. Bahrani. 2011. Influence of gamma irradiation on some physiological characteristics and grain protein in wheat (*Triticum aestivum* L.). World Appl. Sci. J. 15:654-659.

- Razavi, R., R.E. Kenari. 2016. Antioxidant activity of red onion (*Allium cepa* L.) peel extract produced by maceration, ultrasonic assisted and supercritical extraction techniques. First International Food Science and Technology Congress. 95:27-29.
- Saragih, S.H.Y., S.I. Aisyah, Sobir. 2019. Induksi mutasi tanaman leunca (*Solanum nigrum* L.) untuk meningkatkan keragaman kandungan tanin. J. Agron. Indonesia 47:84-89. Doi:10.24831/jai.v47i1.19502.
- Shettima, A.Y., Y. Karumi, O.A. Sodipo, H. Usman, M.A. Tijjani. 2013. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) analysis of bioactive components of ethyl acetate root extract of *Guiera senegalensis* J.F. Gmel. J. Appl. Pharm. Sci. 3:146-150. Doi:10.7324/JAPS.2013.30328.
- Sinuraya, M., Rosmiyati, Hasanudin, D.S. Hanafiah, 2017. The effect of gamma rays irradiation to morphological and agronomical character of local Samosir shallot (*Allium cepa* var. *ascalonicum*). Int. J. Biosci. 10: 126-134. Doi:10.12692/ijb/10.1.126-134.
- Sudrajat, S., R. Kartika, W. Kustiawan. 2019. Analysis phytochemical compounds of ethyl acetate extract garlic tree, scorodocarpus borneensis becc as a source of bioactive ingredients. Int. J. Sci. Technol. Res. 8: 183-186.
- Sutapa, G.N., I.G.A. Kasmawan. 2016. Efek induksi mutasi radiasi gamma ⁶⁰CO pada pertumbuhan fisiologis tanaman tomat (*Lycopersicon esculentum* L.). J. Keselam. Radiasi Lingkungan. 1:5-11.
- Sutarto, I., Nurrohma, D.K., Arwin. 2004. Pengaruh iradiasi sinar gamma ⁶⁰CO terhadap pertumbuhan tanaman bawang putih (*Allium sativum* L.) varietas lumbu hijau di dataran rendah. Risal. Semin. Ilm. Penelit. dan Pengebangan Apl. Isot. dan Radiasi: 4-9.
- Syukur, M., S. Sujiiprihati, R. Yuniati. 2015. Teknik Pemuliaan Tanaman. Penebar Swadaya, Jakarta, ID.
- Viana, V.E., C. Pegoraro, C. Busanello, A. Costa de Oliveira. 2019. Mutagenesis in Rice: The Basis for Breeding a New Super Plant. Front. Plant Sci. 10:1-28. Doi: 10.3389/fpls.2019.01326.
- Yelni, G., M. Kasim, P.K.D. Hayati. 2019. Meningkatkan keragaman genetik bawang putih (*Allium sativum* L.) melalui mutasi iradiasi gamma. J. Sains Agro 4:13.
- Yi, L., Q. Su. 2013. Molecular mechanisms for the anti-cancer effects of diallyl disulfide. Food Chem. Toxicol. 57: 362-370. Doi:10.1016/j.fct.2013.04.001.
- Zanzibar, M., Witjaksono. 2011. Pengaruh penuaan dan iradiasi benih dengan sinar gamma (60C) terhadap pertumbuhan bibit suren (*Toona sureni* Blume Merr). J. Penelitian Hutan Tanaman 8:89-95.
- Zhang, X. 1999. WHO Monographs on Selected Medicinal Plants: *Bulbus Allii Sativi*. Geneva: World Health Organization.