

Pengujian Ketahanan Kekeringan pada Tanaman Garut (*Maranta arundinacea* L.) Hasil Mutasi Dengan Radiasi Sinar Gamma

Nuril Hidayati, Lazarus A. Sukamto, & Titi Juhaeti

Pusat Penelitian Biologi - LIPI. Cibinong Science Center, Jl. Raya Jakarta-Bogor Km 46, Cibinong 16911. E-mail: criancht@yahoo.co.id

ABSTRACT

Drought Tolerance Assay on Resulted Mutation of Arrowroot Plant (*Maranta arundinacea* L.) with Gamma Irradiation. Selection of garut (*Maranta arundinacea* L.) toward drought stress was conducted in induced mutant by using provenance plants from some semi arid regions of East Jawa. In this research three provenance were used 1) Garut from Dusun Pogal, Desa Lebakrejo, Kec. Purwodadi, Kab. Pasuruan (N1); 2) Garut from Dusun Sembung, Desa Parerejo, Kec. Purwodadi, Kab. Pasuruan (N5); 3) Garut from Dusun Genitri, Desa Gunting, Kec. Sukorejo, Kab. Pasuruan (N8). Provenance plants were treated with mutation induction using several levels of gamma radiation i.e. 0, 10, 20 and 40 Gy. The induced plants were then planted in optimum environmental condition for acclimatization. After 5 months the plants were placed in a greenhouse for water stress treatments. Three levels of water regimes 1) optimum water (field capacity $\emptyset = -0,3$ to $-1,5$ Mpa); 2) 7 days watering interval ($\emptyset = -1,0$ to $-11,0$ Mpa); 3) 14 days interval ($\emptyset = -4,0$ to $-15,0$ Mpa). Plant drought tolerance was examined by analyzing morphological and physiological characteristics related to drought tolerant characteristics, including stomatal conductance (stomatal opening), transpiration, rate of CO₂ assimilation, biomass production and yield, Harvest Index and drought Tolerance Index. The results showed that radiation treated plants were more capable of maintaining their water potential (\emptyset). This indicated by significantly higher values of \emptyset in treated plants i.e. -2.95 Mpa (10 Gy), -2.86 Mpa (20 Gy) and -2.84 Mpa (40 Gy), compared to -3.74 (Untreated plants). Drought stressed plants produced total biomass 79,55 g/plant, much lower compared to unstressed plants (308,20 g/plant). The highest yield was N8 (219,53 g biomass and 139,83 g tuber), followed by N1 (183,32 g biomass and 126,20 g tuber) and N5 (178,8 g biomass and 136,64 g tuber). Drought Tolerance Index of untreated N1 was the highest (1,27), followed by N5 treated with 40 Gy (1.22), N1 with 10 Gy (1.17) and N8 with 40 Gy (1.00). Among radiation treatments, untreated plant produced the highest yield followed by the plants treated with 10 Gy, and the lowest was treated with 40 Gy.

Keywords: Drought, tolerance, *Maranta arundinacea*, mutation, gamma, radiation

PENDAHULUAN

Kekeringan selalu menjadi kendala bagi produksi pangan secara global. Perubahan iklim global memicu

peningkatan kekeringan. Peningkatan populasi penduduk dunia di masa-masa mendatang juga akan menjadi tantangan yang sangat besar bagi produksi pangan, karena ketersediaan air per kapita akan semakin berkurang.

Garut adalah tanaman introduksi dari Amerika Tengah/Amerika Selatan yang telah beradaptasi dengan kondisi Indonesia. Garut merupakan jenis umbi-umbian yang menjadi sumber pangan alternatif yang memiliki prospek cukup baik. Selama ini budidaya tanaman garut banyak dilakukan petani di lahan-lahan tegalan non irigasi atau tadah hujan. Akibatnya produktivitas tanaman rendah sehingga ketersediaan bahan baku untuk industri juga terbatas dan menyebabkan industri pengolahan pangan tidak berkembang sehingga harga tidak kompetitif dan semakin membuat petani tidak berminat mengembangkannya. Pemanfaatan yang kurang optimal tersebut sejalan dengan kurangnya penelitian dan pengembangan komoditas garut. Kendala ini harus diputus dengan mengembangkan genotipe/ varietas yang produktifitasnya lebih baik di daerah yang kering.

Manipulasi kromosom telah dimanfaatkan dalam pemuliaan tanaman seperti gandum, kentang, pisang, jambu biji *seedless*, mangga dan semangka *seedless*. Tanaman poliploid pada umumnya mempunyai ukuran vegetatif maupun generatif yang lebih besar, misalnya bunga *Petunia axillaris* (Gupta 1982), buah apel, pir, jeruk dan anggur (Sanford 1983). Tanaman garut diploid ($2n=48$) kemungkinan besar dapat ditingkatkan ketahanan terhadap kekeringan dengan perubahan kromosomnya. Manipulasi kromosom dapat dilakukan dengan induksi dengan radiasi sinar gamma maupun senyawa kimia EMS.

Induksi mutasi pada tanaman yang diperbanyak secara vegetatif maupun

generatif memberikan alternatif dalam memperluas keragaman genetik dan memperbaiki kualitas dan kuantitas tanaman. Induksi mutasi, yang merupakan aksi dari mutagen (baik radioaktif maupun mutagen kimia) telah banyak digunakan pada berbagai tanaman (Poerba & Martanti 2009; Poerba, 2004; Ahloowalia *et al.*, 2004). Dengan seleksi terhadap hasil induksi mutasi dan program pemuliaan selanjutnya, genotipe hasil induksi mutasi dapat langsung digunakan sebagai genotipe harapan yang lebih unggul atau menjadi bahan tetua yang akan digabung dengan genotipe lain untuk menghasilkan genotipe unggul (Saleem *et al.* 2005). Keuntungan utama induksi mutasi pada tanaman yang memperbanyak diri secara vegetatif adalah kemampuan untuk merubah satu atau beberapa karakter suatu kultivar tanpa merubah genotip baik yang telah ada pada kultivar tersebut (Roux *et al.* 2004). Dengan menginduksi mutasi garut melalui penyinaran gamma dengan dosis yang berbeda diharapkan dapat mencapai suatu genotipe yang tahan terhadap kekeringan sesuai dengan karakter-karakter di atas. Sinar gamma paling sering (64%) digunakan untuk menginduksi mutasi dibandingkan sinar X (22%) (Ahloowalia *et al.* 2004).

Ketahanan tanaman terhadap kekeringan bervariasi bergantung pada tingkat cekaman, jenis tanaman dan fase pertumbuhan (Demirevska *et al.* 2009). Perbaikan teknologi dalam bidang budidaya tanaman pangan telah banyak dilakukan, namun seleksi dan perbaikan genetik untuk dapat beradaptasi terhadap

kekeringan dan perubahan iklim global tidak kalah penting untuk meningkatkan hasil. Hal ini dapat dicapai dengan peningkatan potensial hasil panen dan memperkecil selisih potensial hasil panen pada kondisi optimum dan kondisi kekeringan. Keberhasilan teknologi ini berhubungan erat dengan pendekatan multidisiplin, termasuk fisiologi, morfologi, genetika dan pemuliaan genom.

Passioura (2006) mengemukakan tiga faktor utama yang dapat dilakukan untuk peningkatan produksi pada kondisi cekaman air, yaitu dengan menanam tanaman yang memiliki kemampuan: 1) mentranspirasikan lebih banyak air 2) lebih efisien dalam pertukaran transpirasi dan serapan CO₂ untuk memproduksi lebih banyak biomasa 3) mengalokasikan lebih banyak hasil asimilat ke bagian tanaman yang dapat dipanen (buah, bulir, umbi dll.). Hal ini dapat dicapai dengan memperbaiki fisiologi, morfologi dan genetik tanaman.

Duvick (2005) sependapat bahwa diantara karakter yang diharapkan dari pemuliaan tanaman toleran kekeringan adalah perbaikan genetik, morfologi dan fisiologi. Contohnya untuk tanaman jagung adalah perbaikan tinggi tanaman, manipulasi interval antara antesis dan pengisian tongkol, hijau daun lebih tahan lama, tahan rebah, laju fotosintesis lebih tinggi dan lebih efisien serta cepatnya pemulihan fotosintesis setelah mengalami kekeringan. Selain itu, juga diperlukan karakter seperti kemampuan *osmotic adjustment* yang lebih baik pada kondisi air yang rendah (Ribaut *et al.* 2008).

BAHAN DAN CARA KERJA

Bahan tanaman berupa umbi tanaman garut yang dikoleksi berasal dari 3 lokasi, yakni :

1. Dusun Pogal, Desa Lebakrejo, Kec. Purwodadi, Kab. Pasuruan (N1)
2. Dusun Sembung, Desa Parerejo, Kec. Purwodadi, Kab. Pasuruan (N 5)
3. Dusun Genitri, DesaGunting, Kec. Sukorejo, Kab. Pasuruan (N 8).

Ketiga aksesi nomor garut dari ketiga lokasi diberi perlakuan induksi mutasi dengan sinar gamma yang dilakukan di Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) dengan tingkat 0, 10, 20, 40 Gy dengan sepuluh ulangan. Umbi yang diberi perlakuan dipilih dengan umur dan ukuran yang sama dan dipotong dengan ukuran panjang yang sama yakni 2 cm. Hasil mutasi ditanam dalam polibag berukuran 35 x 40 cm dengan media campuran tanah dan kompos (2:1). Pada awal penanaman, tanaman diletakkan di luar rumah kaca dengan naungan paranet 55%. Setelah 5 bulan tanaman, dipindah ke rumah kaca dan diberi perlakuan kekeringan untuk mengetahui respon masing-masing nomor tanaman terhadap cekaman kekeringan. Cekaman kekeringan diberikan setelah tanaman tumbuh secara optimal. Kondisi mikroklimat untuk tanaman garut di luar rumah kaca lebih baik dibandingkan di dalam rumah kaca sehingga untuk mencapai pertumbuhan optimal tanaman ditempatkan di luar rumah kaca sebelum diberi perlakuan kekeringan.

Bahan tanaman yang diberi perlakuan kekeringan adalah aksesi: No. 1 (N1), No. 5 (N5) dan No. 8 (N8)

yang telah diberi perlakuan penyinaran gamma dengan dosis: 0 Gy (G0), 10 Gy (G10), 20 Gy (G20) dan 40 Gy (G40). Perlakuan kekeringan yang diberikan adalah: tanpa cekaman (S0) dan dengan cekaman (S1). Perlakuan tanpa kekeringan (S0) adalah tanaman yang disiram setiap hari sehingga media tumbuhnya selalu pada kondisi kapasitas lapang. Sementara perlakuan kekeringan adalah tanaman yang tidak diberi air selama 7 hari dan 14 hari.

Analisis yang digunakan Rancangan Acak Kelompok dengan empat ulangan. Parameter yang diamati adalah karakter morfologi dan fisiologi terkait sifat-sifat ketahanan terhadap kekeringan diantaranya: pembukaan stomata, laju fotosintesis, laju transpirasi, kandungan klorofil daun, potensial air daun, produksi umbi, produksi biomasa, rasio umbi//tajuk (indeks panen: HI) dan indeks ketahanan terhadap kekeringan (*Drought Tolerance Index*: DTI)

Pengukuran parameter fisiologis (fotosintesis, transpirasi, *stomatal conductance* dll.) dilakukan secara simultan dengan menggunakan alat *LCi ADC Bioscientific Ltd. Photosynthesis System*. Kandungan klorofil daun dilakukan dengan menggunakan alat *chlorophyll meter SPAD-502; Minolta Co.Ltd., Osaka, Japan*. Pengukuran potensial air menggunakan alat *Dewpoint PotentiaMeter WP4*. Pengamatan dilakukan pada saat tanaman mengalami cekaman kekeringan, yakni pada hari ke tujuh dan ke 14 pada kondisi tanpa air. Pada hari ke tujuh sebagian tanaman sudah mengalami layu dan penguningan daun dan pada hari ke 14 sebagian besar

tanaman mengalami layu dan pengeringan daun.

Penghitungan indeks toleran kekeringan (*Drought Tolerance Index*: DTI) adalah:

$$DTI = \frac{\text{PHU i kekeringan}}{\text{PHU Optimum}}$$

dan indeks panen (Harvest Index:HI) dihitung dengan:

$$HI = \frac{\text{Total Hasil Umbi}}{\text{Total Biomasa}}$$

Banyak faktor yang dapat mempengaruhi nilai hasil pengukuran potensial air, diantaranya cara pengambilan sampel. Untuk menghindari besarnya galat dari nilai pengukuran, maka sampel tanah diambil secara acak dari beberapa tempat di sekitar tanaman dengan berbagai kedalaman. Sampel daun diambil dari daun dengan posisi yang sama yakni daun yang baru berkembang maksimum atau posisi tengah dari tajuk tanaman dengan posisi bagian tengah daun. Perlu diketahui hasil pengukuran sampel dari bagian tepi dan tengah daun, serta bagian ujung dan pangkal daun akan memberikan nilai potensial air yang berbeda walaupun pengambilan sampel dilakukan pada saat yang bersamaan.

Jenis dan umur jaringan tanaman juga memberikan pengaruh terhadap hasil pengukuran potensial air. Disamping itu masih banyak hal lain yang dapat mempengaruhi dan harus diperhatikan dalam pengambilan sampel untuk pengukuran potensial air. Salah satu indikator yang menentukan tingkat kekeringan adalah potensial air, baik pada tanaman maupun pada media.

Dalam hal ini potensial air tanah dan daun diukur secara periodik setiap hari terakhir dari interval masa perlakuan cekaman kekeringan.

HASIL

Secara keseluruhan hasil pengukuran potensial air media kontrol tanpa cekaman menunjukkan nilai sekitar -0,3 Mpa sampai dengan -1,5 Mpa. Potensial air media dengan perlakuan kekeringan 7 hari lebih rendah yakni -1,0 sampai dengan -11,0 Mpa dan perlakuan kekeringan 14 hari sekitar -4,0 sampai dengan -15,0 Mpa (Gambar 1 & 2). Potensial air daun tanaman yang mengalami cekaman kekeringan lebih rendah dibanding tanaman pada kondisi potensial air optimum (kapasitas lapang).

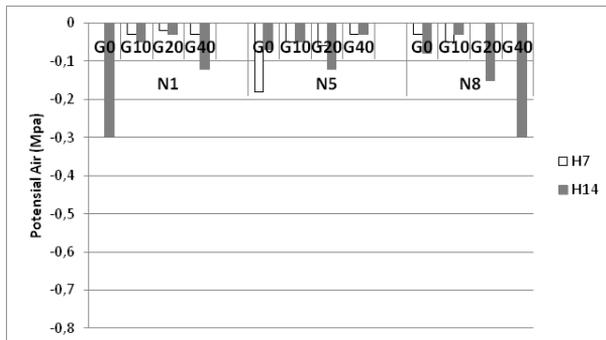
Perbedaan respon kekeringan ditunjukkan oleh ketiga aksesori garut. Aksesori garut no 8 cenderung lebih tahan cekaman kekeringan, ditunjukkan oleh potensial air yang lebih tinggi dari pada potensial air daun garut no 1 dan no 5 baik pada kekeringan 7 hari maupun 14 hari (Gambar 3&4). Pada kondisi kekeringan 7 hari tanpa penyiraman, potensial air daun N8 -2,1 s/d -3,5 Mpa, lebih tinggi dibandingkan potensial air N1 (-3,0 s/d -9,0 Mpa) dan N5 (-3,9 Mpa s/d -11,0 Mpa). Pada perlakuan kekeringan 14 hari tanpa penyiraman, potensial air daun N8 adalah -4,1 s/d -5,0 Mpa, lebih tinggi dibandingkan potensial air N1 (-4,0 s/d -6,2 Mpa) dan N5 (-5,0 Mpa s/d -8,0 Mpa) (Gambar 3&4).

Hasil analisa statistik menunjukkan bahwa potensial air media dan daun pada kontrol masing-masing adalah -0,10 Mpa

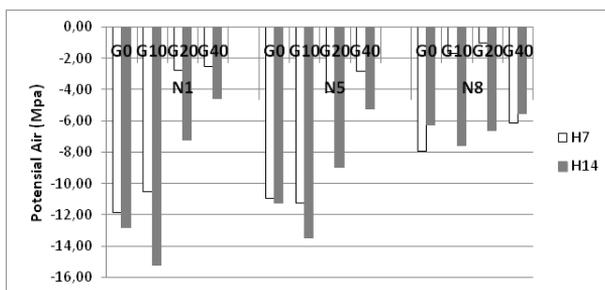
dan -1,91 Mpa, berbeda nyata dengan potensial air media dan daun yang mengalami cekaman yakni masing-masing -8,19 Mpa dan -4,31 Mpa (Tabel 2). Pada kondisi kering, potensial air tanaman N8 bertahan pada -2,56 Mpa, berbeda nyata dibandingkan N1 (-3,47 Mpa) dan N5 (-3,30 Mpa). Potensial air tanaman hasil mutasi secara keseluruhan lebih tinggi dibandingkan tanaman yang tidak diberi perlakuan sinar gamma. Dapat disimpulkan bahwa tanaman hasil mutasi lebih dapat mempertahankan potensial airnya pada kondisi kering, hal ini terutama terlihat pada N8 yang terbukti paling baik dalam mempertahankan potensial airnya pada kondisi cekaman kekeringan (Tabel 2).

Respon fisiologis tanaman terhadap stress kekeringan tidak sama antara satu dan lainnya. Parameter fisiologi yang diukur diantaranya meliputi laju asimilasi CO₂ (fotosintesis), laju transpirasi, pembukaan stomata dan kandungan klorofil daun. Parameter fisiologis tersebut saling berkaitan satu sama lainnya dan dapat dijadikan sebagai tolok ukur ketahanan individu tanaman terhadap kekeringan.

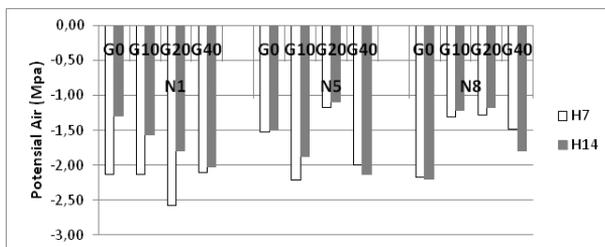
Ada kecenderungan penurunan kandungan klorofil daun pada tanaman yang mengalami stress kekeringan (Tabel 1), akan tetapi penurunan klorofil ini masih belum pada tingkat yang dapat menurunkan laju fotosintesis karena laju fotosintesis pada tanaman yang mengalami kekeringan 7 hari tidak berbeda nyata dengan kontrol (Tabel 2). Pengaruh kekeringan selain terlihat pada penurunan klorofil daun juga juga pada respon pembukaan stomata dan laju



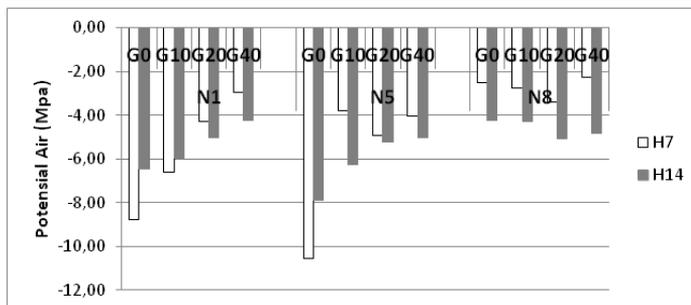
Gambar 1. Potensial air media tanam pada kontrol (tanpa perlakuan kekeringan)



Gambar 2. Potensial air media tanam pada perlakuan kekeringan 7 dan 14 Hari



Gambar 3. Potensial air daun pada kontrol (tanpa perlakuan kekeringan)



Gambar 4. Potensial air daun pada perlakuan kekeringan 7 dan 14 Hari

transpirasi. Pada tanaman yang mengalami kekeringan, pembukaan stomata cenderung mengecil dan laju transpirasi menurun (Tabel 1 & 2).

Respon terhadap kekeringan ini berbeda antara ke tiga aksesori garut dan hasil mutasinya dengan sinar gamma dengan dosis yang berbeda. Respon fisiologis baik laju fotosintesis, laju transpirasi dan pembukaan stomata ke tiga aksesori yang mengalami kekeringan 7 hari tidak berbeda nyata secara statistik (Tabel 1 & 2). Akan tetapi respon pada kondisi potensial air tanaman berbeda nyata dengan aksesori garut no 8 cenderung lebih tahan kekeringan dengan ditunjukkan oleh nilai potensial air yang lebih tinggi (Tabel 2).

Diantara dosis penyinaran terlihat respon yang berbeda pada laju fotosintesis dan potensial air, tetapi tidak pada laju transpirasi dan pembukaan stomata. Laju fotosintesis paling tinggi pada dosis 10 dan 40 Gy, dan potensial air paling tinggi pada dosis 40 Gy (Tabel 2). Hasil analisis statistik menunjukkan ada perbedaan respon masing-masing nomor tanaman terhadap cekaman kekeringan. Pada kondisi kekeringan, tanaman N1 menunjukkan laju asimilasi CO_2 yang masih cukup tinggi yakni $12,82 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ diikuti N8 ($12,71 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) dan N5 ($12,46 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$), walaupun secara statistik tidak berbeda nyata. Garut dengan penyinaran 10 Gy menunjukkan hasil asimilasi CO_2 paling tinggi pada kondisi kering yakni $16,31 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Tabel 2).

Perbedaan respon terhadap cekaman juga ditunjukkan oleh parameter fisiologi lainnya. Transpirasi

antara tanaman yang diberi cekaman cenderung lebih rendah (masing-masing $4,08 \text{ molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ untuk tanaman yang mengalami cekaman dan $5,24 \text{ molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ untuk kontrol), karena pembukaan stomata juga lebih kecil (masing-masing $0,23 \text{ molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ untuk tanaman yang mengalami cekaman dan $0,34 \text{ molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ untuk kontrol). Hal ini diakibatkan oleh rendahnya potensial air media dan daun tanaman pada kondisi cekaman (masing-masing $-4,31 \text{ Mpa}$ untuk tanaman yang mengalami cekaman dan $-1,91 \text{ Mpa}$ untuk kontrol (Tabel 1 & 2).

Salah satu indikasi ketahanan terhadap kekeringan adalah indeks toleran kekeringan (*Drought Tolerance Index: DTI*) yang dihitung berdasarkan perbandingan potensial hasil umbi pada kondisi optimum dan hasil umbi pada kondisi kekeringan. DTI tanaman tanpa induksi mutasi paling tinggi adalah N1 dengan nilai DTI 1,27, diikuti N5 (0,97) dan N8 (0,94). Induksi mutasi dengan sinar gamma menghasilkan tanaman dengan nilai DTI paling tinggi 1,22 (N5 dengan 30 Gy), diikuti N1 dengan 10 Gy (1,17) N8 dengan 30 Gy (1,00).

PEMBAHASAN

Data hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan respon tanaman terhadap cekaman kekeringan. Sesuai dengan parameter ketahanan kekeringan yang ditunjukkan oleh nilai potensial air, aksesori N8 menunjukkan ketahanan paling tinggi dengan nilai potensial air yang paling tinggi. Potensial air tanaman yang tetap tinggi pada kondisi kering ini diikuti pula oleh respon fisiologi, termasuk laju

fotosintesis, laju transpirasi, pembukaan stomata, dan produktivitas yang masih tinggi pada kondisi kekeringan. Tanaman yang relatif kurang tahan kekeringan (N1 dan N5), menunjukkan nilai potensial air yang rendah diikuti laju fotosintesis, laju respirasi dan pembukaan stomata serta produktivitas yang relatif lebih rendah.

Cekaman kekeringan pada tanaman dapat mempengaruhi potensial air atau *osmotic adjustment* tanaman, morfologi, proses fisiologi dan biokimia. Respon morfologi terhadap kekeringan termasuk

terganggunya integritas membran, terhambatnya pertumbuhan sel dan percepatan penuaan (*senescence*) daun (Benjamin & Nielsen 2006; Praba *et al.* 2009). Pada tanaman yang mengalami kekeringan terjadi penurunan laju fotosintesis akibat cekaman air, karena mekanisme stomata maupun penyebab lain. Stomata merupakan pintu masuk bagi air dan CO₂ ke tanaman. Penutupan stomata merupakan salah satu respon awal terhadap cekaman kekeringan yang berakibat pada penurunan pembukaan

Tabel 1. Karakter fisiologi tanaman hasil mutasi sinar gamma pada dosis 0, 10, 20 dan 40.

Perlakuan	Fotosintesis ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Transpirasi ($\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Stomatal Conductance ($\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Klorofil (SPAD)
N1G0S0	5.19	4.30	0.22	51,05
N1G10S0	15.71	4.96	0.27	42,85
N1G20S0	8.34	5.12	0.36	48,2
N1G40S0	19.41	5.19	0.32	47,15
rerata	12.16			
N1G0S1	13.19	3.94	0.23	43,25
N1G10S1	21.60	3.88	0.24	39,45
N1G20S1	14.90	4.15	0.21	40,85
N1G40S1	4.24	4.23	0.19	40
rerata	13.48			
N5G0S0	12.75	5.47	0.40	47,8
N5G10S0	21.44	5.11	0.26	46,3
N5G20S0	3.98	5.94	0.47	44,6
N5G40S0	16.49	5.66	0.44	46,6
rerata	13.66			
N5G0S1	5.03	3.57	0.21	40,1
N5G10S1	17.08	3.75	0.21	40,9
N5G20S1	12.22	3.66	0.28	39,4
N5G40S1	10.67	4.92	0.26	35,45
rerata	11.25			
N8G0S0	15.65	5.11	0.40	39,95
N8G10S0	14.74	4.94	0.26	51,45
N8G20S0	9.06	5.25	0.29	50,55
N8G40S0	11.96	5.87	0.38	37,95
rerata	12.85			
N8G0S1	17.94	4.16	0.22	47,9
N8G10S1	16.27	3.92	0.30	45,7
N8G20S1	6.06	4.66	0.25	40,4
N8G40S1	10.04	4.21	0.18	39,4
rerata	12.58			

Keterangan: N : Nomor aksesi/provenance; G : Dosis sinar gamma; S : Perlakuan kekeringan.

Tabel 2. Respon fisiologi tiga nomor garut hasil mutasi dengan radiasi sinar gamma pada cekaman kekeringan

Parameter Fisiologi	Fotosintesis ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Transpirasi ($\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Stomatal Conductance ($\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Ψ Daun (Mpa)	Ψ Media (Mpa)
Kekeringan					
- Kontrol	11.48 a	5.24 a	0.34 a	-1.91 b	-0.10 b
- Cekaman Kekeringan	12.09 a	4.08 b	0.23 b	-4.31 a	-8.19 a
Aksesi Garut					
- Nomor 1	12.82 a	4.47 a	0.25 a	-3.47 a	-4.88 a
- Nomor 5	12.46 a	4.76 a	0.31 a	-3.30 a	-4.29 ab
- Nomor 8	12.71 a	4.76 a	0.28 a	-2.56 b	-3.27 b
Dosis Radiasi					
- 0 Gy	9.10 b	4.42 a	0.27 a	-3.79 a	-4.98 a
- 10 Gy	16.31 a	4.42 a	0.25 a	-2.95 b	-4.54 ab
- 20 Gy	9.09 b	4.80 a	0.31 a	-2.86 b	-4.08 ab
- 40 Gy	12.63 ab	5.01 a	0.29 a	-2.84 b	-2.98 ab

Keterangan: \emptyset =potensial air

Tabel 3. Produktivitas tiga nomor garut hasil mutasi dengan radiasi sinar gamma pada cekaman kekeringan

Perlakuan	BBA (g)	BBU (g)	BBB (g)	HI
Kekeringan				
- Kontrol	41,98 a	145,07 a	308,20 a	0,50 b
- Cekaman	14,28 b	123,38 a	79,55 b	2,49 a
Aksesi Garut				
- Nomor 1	21,78 b	126,20 a	183,32 a	1,53 a
- Nomor 5	28,05 ab	136,64 a	178,78 a	2,01 a
- Nomor 8	34,55 a	139,83 a	219,53 a	0,95 a
Dosis Radiasi				
- 0 Gray	37,08 a	202,55 a	220,82 a	3,13 a
- 10 Gray	26,03 bc	123,29 b	212,92 a	1,11 b
- 20 Gray	32,25 ab	124,10 b	195,46 ab	0,93 b
- 40 Gray	17,15 c	86,96 b	146,30 b	0,80 b

stomata dan laju fotosintesis. Diketahui bahwa status air daun selalu berinteraksi dengan pembukaan stomata. Sebagai contoh, cekaman kekeringan pada jagung menurunkan fotosintesis hingga 33,22%, laju transpirasi hingga 37,84%, pertumbuhan stomata hingga 25,54%, efisiensi pemakaian air 50,87% dan CO_2 interselular 5,86% dibandingkan kondisi normal (Anjum *et al* 2011). Klorofil

merupakan salah satu komponen kloroplas yang penting untuk fotosintesis dalam pemanfaatan cahaya matahari. Cekaman kekeringan mengakibatkan penurunan kandungan klorofil (Farooq *et al.* 2009, Manivannan *et al.* 2007). Kandungan prolin meningkat dengan adanya cekaman kekeringan dan mencapai puncaknya pada 10 hari cekaman dan menurun pada tingkat

Tabel 4. Indeks toleran kekeringan (Drought Tolerance Index : DTI) tiga nomor garut hasil mutasi dengan radiasi sinar gamma pada cekaman kekeringan

Nomor Garut	Dosis Radiasi Gamma (Gy)	DTI
N1	0	1,27
	10	1,17
	20	0,76
	40	1,00
N5	0	0,97
	10	0,37
	20	0,94
	40	1,22
N8	0	0,52
	10	0,81
	20	0,94
	40	1,00

cekaman yang parah (setelah 15 hari) (Anjum *et al.* 2011).

Tanaman yang tahan terhadap kekeringan memiliki karakter, walaupun pada kondisi kering dengan potensial air tanah dan daun yang rendah dan pembukaan stomata yang kecil, tetapi masih dapat mempertahankan asimilasi CO₂ (fotosintesis) yang tinggi sehingga masih dapat memproduksi biomasa yang tinggi, walaupun korelasi antara laju fotosintesis tidak selalu positif dengan produksi total biomasa.

Salah satu indikasi ketahanan terhadap kekeringan adalah indeks toleran kekeringan yang dihitung berdasarkan perbandingan potensial hasil umbi pada kondisi optimum dan hasil umbi pada kondisi kekeringan. Ada kemungkinan, fenotipe memiliki hasil panen tinggi pada kondisi kekeringan tetapi memiliki nilai DTI rendah, sebagai akibat dari potensi hasilnya yang sangat tinggi pada kondisi optimum. Sebaliknya

ada fenotipe yang memiliki hasil panen rendah pada kondisi cekaman kekeringan tetapi memiliki nilai DTI tinggi, sebagai akibat dari rendahnya potensi hasil fenotipe tersebut pada kondisi optimum (Messer & Stamp, 2010).

Ketahanan tanaman terhadap cekaman bervariasi bergantung pada tingkat cekaman, jenis tanaman dan fase pertumbuhan (Demirevska *et al.* 2009). Perbaikan teknologi bidang budidaya tanaman pangan telah banyak dilakukan, namun seleksi dan perbaikan genetik untuk dapat beradaptasi terhadap kekeringan dan perubahan iklim global juga penting untuk meningkatkan hasil panen. Hal ini dapat dicapai dengan peningkatan potensial hasil panen dan memperkecil selisih hasil panen pada kondisi optimum dan kekeringan. Keberhasilan teknologi ini berhubungan erat dengan pendekatan multidisiplin, termasuk fisiologi, morfologi, genetika dan pemuliaan genom.

Radiasi sinar gamma menghasilkan tanaman dengan respon yang berbeda terhadap kekeringan. Walaupun pada parameter fisiologi (fotosintesis, transpirasi dan pembukaan stomata) tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan (Tabel 2), akan tetapi sinar gamma dengan dosis 0, 10, 20 dan 40 Gy memberikan hasil produksi tanaman yang berbeda dengan produksi paling tinggi pada tanaman tanpa disinari dan produksi paling rendah pada tanaman yang disinari dengan dosis terbesar, yakni 40 Gy (Tabel 3). Temuan ini sesuai dengan hasil temuan lain bahwa pada dosis kecil sinar gamma memberikan hasil tanaman dengan kualitas lebih baik, sedangkan sinar gamma dengan dosis yang tinggi memberikan dampak negatif. Sebagai contoh bahwa semakin tinggi dosis penyinaran semakin negatif hasilnya terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman kentang hitam (Witjaksono & Aryani 2012), pada curcuma (Poerba & Martanti 2009) dan talas (Seetohul *et al.* 2009).

Meningkatnya keragaman genetik dan/atau perbaikan kualitas tanaman hasil mutagen ini telah banyak dilaporkan pada berbagai tanaman. Karakter-karakter yang dipengaruhi oleh mutagen antara lain: hasil tanaman, umur panen, kandungan kimia, resistensi terhadap penyakit/hama, hingga perubahan morfologis yang drastis seperti tanaman pendek/ kerdil, bentuk dan ukuran daun dengan sedikit pengaruh pleiotropik yang tidak dikehendaki (Poerba 2001; Velasco *et al.* 1999, Hautea *et al.* 2002).

Radiasi dengan sinar gamma dapat memberikan harapan untuk menghasilkan

getotipe tanaman yang tahan terhadap kekeringan karena sesuai dengan banyak temuan bahwa sinar gamma terbukti dapat memperluas keragaman genotype untuk seleksi dan perbaikan kualitas tanaman (Ahloowalia *et al.* 2004; Sangsiri *et al.* 2005).

KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa tanaman hasil mutasi lebih dapat mempertahankan potensial airnya pada kondisi kering, hal ini terutama terlihat pada N8 yang terbukti paling baik dalam mempertahankan potensial airnya pada kondisi cekaman kekeringan.

Tanaman yang mengalami cekaman menghasilkan biomasa sekitar 79,55 g/tanaman, jauh lebih kecil dibandingkan yang tidak mengalami cekaman (308,20 g). Perbedaan produksi biomasa antar nomor tanaman tidak berbeda nyata, tetapi ada kecenderungan tanaman N8 memproduksi biomasa dan umbi lebih tinggi (219,53 g biomasa dan 139,83 g umbi), diikuti tanaman N1 (183,32 g biomasa dan 126,20 g umbi) dan tanaman N5 (178,8 g biomasa dan 136,64 g umbi). Tanaman yang tidak diradiasi memberikan biomasa paling tinggi, diikuti tanaman yang diradiasi 10 Gy.

Diantara tanaman hasil mutasi sinar gamma yang memiliki nilai indeks ketahanan terhadap kekeringan (DTI) paling tinggi adalah N5 dengan 30 Gy (1,22), diikuti N1 dengan 10 Gy (1,17) dan N8 dengan 30 Gy (1,00).

DAFTAR PUSTAKA

- Ahloowalia, B.S., M. Maluszynski, & K. Nichterlein. 2004. Global Impact of Mutation-Derived Varieties. *Euphytica* 135: 187 – 204.
- Anjum, SA., LY.Xie, LC.Wang, MF.Saleem, C.Man,& W. Lei. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought cekamans. *African J. Agric. Res.* 6 (9) : 2026 – 2032. <http://www.Academicjournals.org/AJAR>.
- Benjamin, JG. & DC.Nielsen. 2006. Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea. *Field Crops Res.* 97:248-253.
- Cooper, M., FA. van Eeuwijk, SC. Champ, DW. Podlich, & C. Loffler. 2006. Genotype by environment interactions under water limited conditions. In: Ribaut, JM. (ed.). *Drought Adaptation in Cereals*. The Haworth Press Inc., Binghampton, NY.51-95.
- Demirevska, K., D. Z Asheva, R.Dimitrov, L.Simova-Stoilova, M.Stamenova, & U. Feller. 2009. Drought cekamans effects on Rubisco in wheat: changes in the Rubisco large subunit. *Acta Physiol. Plant.* 31: 1129-1138.
- Duvick, DN. 2005. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Adv. Agron.* 86: 83-145.
- Farooq, M., A.Wahid, N.Kobayashi, D.Fujita, & SMA.Basra. 2009. Plantdrought cekamans: effects, mechanisms and management. *Agron.Sustain. Dev.* 29: 185-212.
- Gupta, PP. 1982. Genesis of Microspore-derived Triploid Petunias. *Theor. Appl. Genet.* 61:327-331.
- Hautea, DM, GC Molina, CH Balatero, NB Coronado, EB Perez, MTH Alvarez, AO Camara, RH Akuba, RB Quilloy, RB Frankie, CS Caspillo. 2002. Analysis of induced mutants of Phillipine bananas with molecular markers. In Jain M and R. Swennen (Eds). *Banana Improvement: Cellular, Molecular Biology, and Induced Mutations*. Science Publishers, Inc. Enfield (NH) USA, Plymouth, UK. Pp.45-57.
- Manivannan, P., CA. Jaleel, B.Sankar, A.Kishorekumar, R. Somasundaram, MA. Lakshmanan & R. Panneerselvam 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought cekamans. *Colloids Surf. B: Biointerf.* 59: 141-149.
- Messer, R.& P. Stamp. 2010. Trends in drought research. *Kasetsart J. Nat. Sci.* 44 (4): 507 – 516.
- Passioura, J. 2006. Increasing crop productivity when water is scarce –from breeding to field management. *Agr. Water Manage.* 80 : 176 – 196
- Poerba, YS. 2001. Penggunaan mutagen Etil metan sulfonat (EMS) pada *Sonchus arvensis* L.: Generasi M₂. *Gakuryoku* 7(2):55-59.
- Poerba, YS. 2004. Penampilan genotipe *Talinum paniculatum* Jacq.

- (Gaertn.) pada generasi M2. *Berita Biologi* 7(3):127-135.
- Poerba, YS. & D. Martanti. 2009. Induksi Mutasi Curcuma zedoaria. (Christm) Roscoe dengan Irradiasi Sinar Gamma. *Biota* . 14 (2) : 87 – 93.
- Praba, ML., JE.Cairns, RC.Babu, & HR.Lafitte. 2009. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 195: 30-46.
- Ribaut, JM., J. Betran, P. Monneveux, & T. Setter. 2008. Drought tolerance in maize pp. 311-344, In: J Bennetzen and SC Hake (eds.). *Handbook of Maize: Its Biology*. Springer, Netherlands.
- Roux N, R. Afza, H. Brunner, R. Morpurgo, & M. van Duren. 2004. Complementary approaches to cross breeding and mutation breeding for Musa improvement . *In*: SM Jain & R. Swennen (eds). *The improvement and testing of Musa: a global partnership*. Science Publishers, Inc. Enfield, USA. pp23-32.
- Saleem MY, Z. Muhktar, AA. Cheema & BM Atta. 2005. Induced mutation and invitro techniques as a method to induced salt tolerance in Basmati rice (*Oryza sativa* L.). *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 2(2):141-145.
- Sanford JC. 1983. Ploidy Manipulations. *In*: Moore JN and Janick K (Eds.). *Methods in fruit Breeding*. pp. 100-123. Purdue Univ. Press. West Lafayette, Indiana.
- Sangsiri, C., Sorajjapibub, W. & Sribives, P. 2005. Gamma Radiation Induced Mutation in Mungbean. *Sci. Asia.* 31: 251 – 255.
- Seetohul S., V. Maunkee & M. Gungadurdoss. 2009. Improvement of Taro (*colocasia esculenta* var. *esculenta*). Through In Vitro Mutagenesis. *In*: QY. Shu (ed.), *Induced Plant Mutations in the Genomic Era*. Food and Agriculture Organization in the United Nations, Rome. 296 – 299.
- Velasco, L., B. Perz-Vich & JM. Fernandez-Martinez. 1999. The role of mutagenesis in the modification of the fatty acid profile of oilseed crops. *J. App. Gen.* 40(3):185-209.
- Witjaksono & A. Leksonowati. 2012. Iradiasi sinar ã pada biak tunas kentang hitam (*Solanostemon rotundifolius*) efektif untuk menghasilkan mutan. *J. Biol. Indo.* 8 (1): 167 – 179.

Memasukkan: Januari 2012

Diterima: Juni 2012