

## Pengaruh Irradiasi Sinar Gammapada Pertumbuhan Kalus dan Tunas Tanaman Gandum (*Triticum aestivum* L.)

Laela Sari<sup>1</sup>, Agus Purwito<sup>2</sup>, Didy Sopandie<sup>2</sup>, Ragapadmi Purnamaningsih<sup>3</sup>, dan Enny Sudarmanowati<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Bioteknologi – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Cibinong, Indonesia.

<sup>2</sup>Departemen Agronomi dan Hortikultura, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

<sup>3</sup>Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian, Kementerian Pertanian, Bogor, Indonesia

\*email: laelasari@yahoo.com dan apurwito@yahoo.com

### ABSTRACT

*The aim of this research was to determine lethal dosage 20 (LD<sub>20</sub>) and 50 (LD<sub>50</sub>) calli wheat Dewata varieties that irradiated by gamma rays. The successful of gamma irradiation rays was influenced by the sensitivity of plant genotype. The experiments were arranged by factorial in Randomized Completely Design 1 x 4, with 3 replications. The first factor was wheat Dewata variety. The second factor was the gamma irradiation dose of 0; 7.5; 15; 22.5 and 30Gy. The observed variables were calli growth and percentage growth shoots. The LD<sub>20</sub> and LD<sub>50</sub> were determined using Curve-Fit Analysis. The results showed that the dose of irradiation significantly affect wheat calli growth inhibition. The percentage of live shoots decreased by increasing irradiation dose. The Survival of shoot had decreased extremely even shoots did not grow at all and colored albino at a dose of 30Gy. The highest percentage of live shoots was at a dose of 15Gy. Then, the highest percentage of calli growth was at doses of 7.5Gy. The higher dose of irradiation was used, the percentage of shoots that grew less or lower regeneration. Increased genetic diversity found in wheat calli irradiation treatment between LD<sub>20</sub> and LD<sub>50</sub> was the dose of gamma rays irradiation 15 - 22.5Gy. The best model lethal dose for calli growth quadratic was formed by the equation LD<sub>20</sub> = 0.99Gy and LD<sub>50</sub> = 6.41Gy. As for the percentage of calli were able to germinate and generations have grown calli equations based on the percentage of LD<sub>20</sub> = 13,14Gy and LD<sub>50</sub> = 24,00Gy*

**Keywords:** Wheat (*Triticum aestivum*), lethal dosage, Gamma irradiation.

### INTISARI

Tujuan utama pemuliaan tanaman adalah memperbaiki varietas yang sudah ada guna mendapatkan varietas yang lebih baik atau unggul. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kisaran Lethal Dosis 20 (LD<sub>20</sub>) dan 50 (LD<sub>50</sub>) pada kalus gandum varietas Dewata yang diradiasi sinar gamma. Keberhasilan perlakuan iradiasi sinar gamma sangat ditentukan oleh sensitivitas genotipe tanaman. Penelitian ini dilakukan mulai bulan Juli-Desember 2011 di Laboratorium kultur BB-Biogen dan PATIR BATAN. Percobaan disusun secara faktorial dalam lingkungan Rancangan Acak Lengkap 1 x 4, dengan 3 ulangan. Faktor pertama adalah genotipe gandum Dewata. Faktor kedua adalah dosis iradiasi sinar gamma yaitu 0; 7,5; 15; 22,5; dan 30 Gy. Peubah yang diamati pertumbuhan kalus dan persentase tumbuh tunas. Data dianalisis menggunakan Program SAS 9.1. LD<sub>20</sub> dan LD<sub>50</sub> ditentukan menggunakan Program *Best Curve-fit Analysis*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis iradiasi berpengaruh nyata terhadap penghambatan pertumbuhan kalus gandum. Persentase hidup tunas menurun sejalan dengan kenaikan dosis iradiasi. Kelangsungan hidup tunas menurun drastis bahkan tidak tumbuh sama sekali dan berwarna albino pada dosis 30 Gy. Persentase hidup tunas tertinggi pada dosis 15 Gy. Persentase tumbuh kalus tertinggi terdapat pada dosis 7,5 Gy. Semakin tinggi dosis iradiasi yang digunakan, maka persentase tunas yang tumbuh semakin sedikit atau daya regenerasi semakin rendah. Peningkatan keragaman genetik kalus gandum terdapat pada perlakuan iradiasi antara LD 20 dan LD 50 yaitu dosis iradiasi sinar gamma 15 – 22.5 Gy. Model dosis lethal terbaik untuk pertumbuhan kalus berbentuk kuadrat dengan persamaan  $Y = 86,28 - 6,47x + 0,13x^2$ , LD<sub>20</sub> = 0,99 Gy dan LD<sub>50</sub> = 6,41 Gy. Sedangkan untuk persentase kalus yang bertunas dan

mampu bergenerasi mempunyai persamaan berdasarkan persentase tumbuh kalus  $Y = 100,28 - 0,87x - 0,05x^2$ ,  $LD_{20} = 13,14$  Gy dan  $LD_{50} = 24,00$  Gy.

**Kata kunci:** Gandum (*Triticum aestivum*), lethal dosis, irradiasi sinar gamma.

## PENDAHULUAN

Upaya mendapatkan varietas unggul baru melalui pemuliaan tanaman perlu didukung adanya keragaman genetik tanaman yang tinggi. Keragaman genetik yang rendah menyebabkan kegiatan pemuliaan tanaman dalam upaya perakitan varietas unggul baru tidak bisa berjalan cepat. Peningkatan keragaman genetik tanaman dapat dilakukan melalui introduksi, hibridisasi, induksi mutasi dan rekayasa genetika. Diantara cara-cara tersebut mutasi merupakan salah satu cara yang dipandang paling murah dan cepat dalam upaya peningkatan keragaman genetik tanaman. Menurut Witjaksono (2003), peningkatan keragaman genetik dan perbaikan varietas untuk satu atau dua sifat dapat dilakukan melalui induksi mutasi genetik. Induksi mutasi salah satu cara untuk peningkatan keragaman genetik terutama pada komoditas yang memiliki kendala utama perbaikan genetik melalui hibridisasi contohnya pada tanaman gandum.

Tanaman gandum (*Triticum aestivum*) merupakan tanaman yang berasal dari lingkungan subtropis, sehingga dalam pengembangannya dilingkungan tropis menemui kendala. Gandum merupakan spesies yang berasal dari genus *Triticum*, dan Famili *Poaceae*. *Triteaceae* merupakan Tribe dari famili *Poaceae* yang terdiri lebih dari 15 genus dan 300 spesies yang termasuk gandum dan barley. Genus *Triticum* berkerabat dengan *Hordeum*, *Avena*, *Secale*, *Zea*, dan *Oryza* (Wittenberg 2004). Genus *Triticum* dikelompokkan ke dalam tiga kelas ploidi yaitu diploid ( $2n=2x=14$ ), tetraploid ( $2n=4x=28$ ) dan heksaploid ( $2n=6x=42$ ) (Sakamura 1918 dalam Wittenberg 2004; Fehr 1987; Sleper & Poehlman 2006).

Pada tahun 2003 telah berhasil dirilis varietas baru gandum di Indonesia yang lebih adaptif pada ketinggian 1000 mdpl. dengan rata-rata hasil sekitar 4,13-5,39 t/ha yaitu varietas Selayar dan Dewata (P3TP, 2008). Varietas gandum yang telah dilepas di Indonesia umumnya beradaptasi spesifik untuk dataran tinggi. Upaya mengadaptasikan tanaman gandum di Indonesia terus dilakukan, namun upaya ini terbatas pada lingkungan yang memiliki suhu rendah dan agroekologi tersebut hanya tersebar di wilayah

Indonesia pada ketinggian > 800 m.dpl., disamping itu keragaman genetik gandum yang dimiliki masih sangat rendah.

Kendala pengembangan gandum pada ketinggian > 800 m.dpl adalah wialyahnya sangat terbatas dan berkompetisi dengan tanaman hortikultura yang memiliki nilai ekonomis yang jauh lebih tinggi. Dalam upaya pengembangan gandum ke depan dilingkungan tropis, dapat diarahkan pada lingkungan < 800 m.dpl. Hal ini akan sangat mendukung dalam peningkatan produksi gandum di Indonesia. Namun hal ini dihadapkan pada rendahnya keragaman genetik gandum yang dimiliki. Selama ini gandum yang telah dikembangkan dan dirilis menjadi varietas adalah gandum introduksi dari beberapa negara.

Salah satu program pemuliaan dalam meningkatkan keragaman genetik tanaman adalah induksi mutasi dengan menggunakan mutagen, dapat berupa fisik ataupun kimia. Mutagen fisik yang sering digunakan adalah ionisasi sinar alpha, beta, gamma, fast neutron, elektron beam dan ion beam, sedangkan mutagen kimia adalah sulphur mustard, Colchicine, EMS dan Des (Crowder, 1993).

Mutagen fisik bersifat sebagai radiasi pengion (*ionizing radiation*) dan mampu menimbulkan ionisasi, melepas energi ionisasi ketika melewati atau menembus materi. Pada saat materi reproduksi tanaman terkena radiasi, proses ionisasi akan terjadi dalam jaringan dan menyebabkan perubahan pada tingkat sel, genom, kromosom dan DNA. Diantara mutagen fisik yang ada, sinar Gamma yang paling banyak digunakan karena memiliki energi dan daya tembus yang tinggi karena dapat meningkatkan variabilitas genetik untuk menghasilkan mutan baru (Wattimena, 1992; Al-Safadi *et al.* 2000). Sebanyak 64% dari 1.585 varietas yang dilepas sejak tahun 1985 dikembangkan dengan menggunakan sinar gamma (Maluznski *et al.* 2000). Untuk tujuan tertentu, misalnya menciptakan variabilitas baru, dapat digunakan mutagen fisik seperti irradiasi sinar gamma dan sinar UV, serta perlakuan mutagen kimia seperti *Ethyl Methane Sulphonate* (EMS) dan nitroson guanidine. Mutagen tersebut dapat digunakan bersama-sama dalam kultur *in vitro* untuk

meningkatkan frekuensi munculnya tanaman mutan (Kuksova *et al.*, 1997).

Mutagen fisik ini terkait frekuensi dan spektrum iradiasi dan tergantung pada dosis dan laju dosis yang digunakan. Pengaruh iradiasi fisik ini sangat efisien menyebabkan perubahan materi genetik (Medina *et al.*, 2005).

Respon tanaman terhadap efek iradiasi sinar gamma, selain dipengaruhi oleh jenis kultur yang digunakan juga tergantung dari laju dosis iradiasi yang digunakan. Laju dosis iradiasi adalah jumlah dosis terserap per satuan waktu (rad per detik atau Gray per detik) (Ismachin 1988). Dosis yang tinggi umumnya mengakibatkan kematian, sedangkan pada dosis rendah umumnya hanya menyebabkan perubahan abnormal pada fenotipe tanaman dan bersifat dapat balik. Sensitivitas terhadap radiasi dapat diukur berdasarkan nilai LD (*lethal dose*) yaitu dosis yang menyebabkan kematian dari populasi tanaman yang diradiasi. Tingkat sensitivitas tanaman dipengaruhi oleh jenis tanaman, fase tumbuh, ukuran, dan bahan yang akan dimutasi, serta sangat bervariasi antar jenis tanaman dan antar genotipe (Banerji & Datta 1992).

Beberapa studi menunjukkan bahwa dosis optimum dalam induksi mutasi yang dapat menghasilkan mutan terbanyak umumnya diperoleh di sekitar LD<sub>50</sub> (Datta 2001). Variabilitas mutan tertinggi terdapat pada mutan hasil iradiasi sinar gamma di sekitar LD 20 dan LD 50 (Soeranto 2012). Untuk mendapatkan nilai lethal dosis 20 (LD<sub>20</sub>) dan 50 (LD<sub>50</sub>), digunakan program *bestcurve-fit analysis*, yaitu satu program analisis statistik yang dapat digunakan untuk mencari persamaan model terbaik.

Teknik induksi mutasi sangat baik digunakan untuk tanaman yang mengalami masalah karena tidak tersedianya sumber tetua (*land race*) contoh gandum. Khususnya di Indonesia, gandum termasuk tanaman yang memiliki sumber keragaman genetik yang sangat rendah. Mutan gandum yang pertama tahun 1966 terhadap biji dengan irradiasi sinar X, J, β, laser, neutron cepat, EI, MNH dan sinar gamma meningkatkan produksi, umur genjah, tahan dingin, patogen, rebah, lebih kerdil dan kualitas biji lebih baik (Cheng *et al.* 1990; Vrinten *et al.* 1999). Induksi mutasi juga telah dilakukan pada tanaman *Sorghum bicolor* (Larik *et al.*, 2009), padi (Bibi *et al.*, 2009), dan *Triticum aestivum* (Singh dan Balyan, 2009).

Penelitian bertujuan untuk mengetahui kisaran Lethal Dosis 20 (LD<sub>20</sub>) dan 50 (LD<sub>50</sub>) pada

kalus gandum varietas Dewata yang diradiasi sinar gamma dalam upaya peningkatan keragaman genetik.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kultur BB-Biogen dan di Pusat Aplikasi Irradiasi dan Radioisotop, BATAN, Jakarta pada bulan Juli sampai Desember 2011. Bahan tanam yang digunakan adalah embrio belum masak (*immature embryo*) yang diisolasi dari biji gandum varietas Dewata.

**Praktikum Eksperimen** dilakukan dalam 2 tahap yaitu 1. Induksi kalus embriogenik; 2. Induksi mutasi pada kalus embriogenik. Media yang digunakan berupa media dasar MS yang ditambahkan zat pengatur tumbuh auksin dan sitokinin serta bahan lain yang dapat meningkatkan pertumbuhan. Alat-alat yang digunakan antara lain *laminar air flow cabinet*, oven, autoklaf, dan lain-lain.

### 1. Induksi Kalus Embriogenik

Penelitian dilakukan untuk menentukan persentase pertumbuhan kalus embriogenik gandum terbaik yang akan digunakan untuk induksi mutasi. Bahan tanaman yang digunakan adalah embrio belum masak yang diisolasi dari biji gandum berumur ± 3 minggu setelah *anthesis*. Sebelum disteril biji gandum dikupas terlebih dahulu sampai bersih (tidak ada kulit ari) dan dicuci dengan twenn 20 (sabun). Sterilisasi biji secara bertahap dimulai dengan perendaman menggunakan banlate steril 3% selama 1 jam, alkohol 70% 10 menit, kloroks steril 30% 10 menit, kloroks steril 20% 10 menit dan penutup dibilas aquadest steril sebanyak 3-4 x. Biji yang sudah disterilkan diletakkan pada kertas saring lalu diisolasi embrionya dengan cara mengeluarkan embrio pada ujung biji dengan pingset. Embrio berukuran ± 1-2 mm ditanam pada media induksi kalus dengan posisi skutelum menghadap keatas.

Komposisi media induksi kalus adalah Murashigedan Skoog (MS) + 2,4D 3 mg/l, gula 30%, pematat phytigel 3 gr/l dan pH media 5.8. Setiap botol kultur diisi sekitar 25 ml media dengan 3-5 buah embrio per botol sebanyak 3-4 botol per botol. Botol yang telah diisi embrio selanjutnya diletakkan di atas rak kultur dalam ruang kultur dalam kondisi gelap agar pembentukan kalus lebih optimal. Kalus yang dihasilkan di sub kultur setiap 3-4 minggu pada media yang sama untuk menginduksi proliferasi

kalus hingga dihasilkan kalus yang embriogenik. Setelah itu dilanjutkan ke induksi mutasi.

## 2. Induksi mutasi dengan mutagen Radiasi Sinar Gamma

Kalus yang telah diperoleh di induksi dengan mutagen sinar gamma pada dosis 0 Gray; 7,5 Gray; 15 Gray; 22.5 Gray dan 30 gray. Dosis optimal sudah di lakukan penelitian sebelumnya yaitu sekitar 10-20 Gray. Penembakan sinar gamma dilaksanakan di Laboratorium Batan, Pasar Jum'at, Jakarta. Kalus hasil mutasi dipindahkan ke media regenerasi (MS+BA 0,5 ml/l+Kinetin 1ml/l+Tirosin 50 mg/l + 6% sorbitol).

Biakan diletakkan pada rak kultur menggunakan lampu TL dengan intensitas penyinaran sebesar  $\pm 1000$  lux selama 16 jam dalam sehari. Pengamatan dilakukan terhadap

tumbuh kalus dan persentase kalus yang mampu bergenerasi/bertunas serta visual kalus pada umur 2,5 bulan setelah irradiasi.

Data di analisa untuk menentukan lethal dosis. Penentuan lethal dosis 20 (LD<sub>20</sub>) dan 50 (LD<sub>50</sub>), menggunakan program *bestcurve-fit analysis*, untuk mencari persamaan model terbaik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Iradiasi kalus telah dilakukan pada penelitian sebelumnya dari 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 dan 100 Gray (Gy) sehingga telah didapatkan LD 50 antara 10 – 20 Gy. Penelitian ini menggunakan radiasi kurang lebih dari letal dosis optimal ( 10-20 Gy) yaitu 7,5; 15; 22,5 dan 30 Gy. Respon kalus eksplan setelah diberi perlakuan iradiasi disajikan pada Tabel 1.

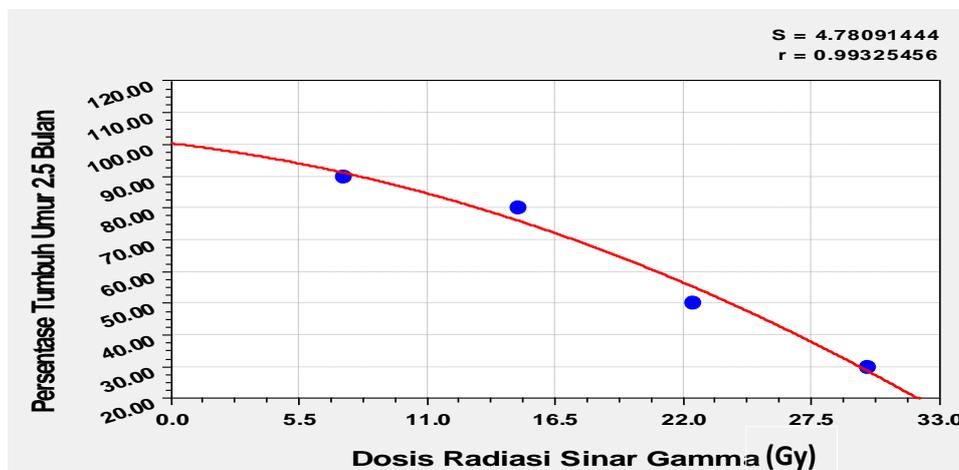
**Tabel 1.** Respon kalus varietas dewata setelah perlakuan iradiasi

Varietas	Dosis iradiasi(Gy)	Respon
Dewata	7,5	Kalus hidup
	15	Kalus hidup
	22,5	Kalus hidup
	30	Kalus albino

Pada Tabel 1 terlihat bahwa pemberian iradiasi pada dosis 30 Gy menyebabkan kalus memutih (albino). Ini sesuai dengan pernyataan Banerji dan Datta 1992 yang mengatakan tingkat sensitivitas tanaman dipengaruhi oleh jenis tanaman, dandosis yang tinggi umumnya mengakibatkan kematian, sedangkan pada dosis rendah umumnya hanya menyebabkan perubahan abnormal pada fenotipe tanaman. Oleh karena itu, untuk perlakuan selanjutnya digunakan dosis iradiasi dibawah 30 Gy. Kalus yang telah diberi

perlakuan iradiasi, selanjutnya dipindahkan pada media regenerasi yang baru.

Peningkatan dosis pada iradiasi sinar gamma biasanya menghambat pertumbuhan sel-sel pada kalus karena rusaknya sel meristem yang sensitif terhadap iradiasi yaitu penghambatan pada pembelahan dan penambahan sel (Charbaji & Nabulsi 1999). Kematian sel dapat terjadi secara langsung pada DNA, secara tidak langsung dari radikal bebas ion H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan OH<sup>-</sup> yang dihasilkan dari radiolisis air (Soeranto 2003).



**Gambar1.** Grafik persentase tumbuh kalus hasil iradiasi sinar gamma umur 2,5bulan

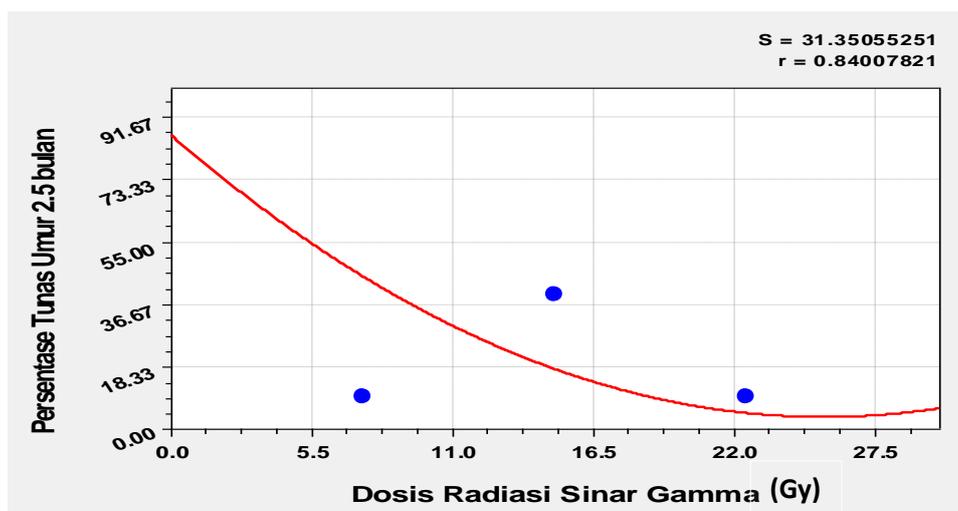
Hasil analisa program *bestcurve-fit analysis* untuk menentukan lethal dosis 20 (LD<sub>20</sub>) dan 50 (LD<sub>50</sub>), maka diperoleh persamaan model terbaik berdasarkan kedua parameter pengamatan. Penentuan lethal dosis irradisi pada kalus gandum berdasarkan parameter persentase tumbuh sampai umur 2,5 bulan setelah irradiasi maka diperoleh persamaan model terbaik adalah quadratic dengan persamaan  $y = 100,285 - 0,87 x - 0,05 x^2$ , sehingga diperoleh lethal dosis LD<sub>20</sub> = 13,14 Gy serta LD<sub>50</sub> = 24,00 Gy (Gambar 1).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa adaperbedaan antara perlakuan dosis irradiasi dengan persentase bertahan hidup. Persentase hidup tunas menurun sejalan dengan kenaikan dosis irradiasi. Maksimum kelangsungan hidup tanaman diamati pada dosis optimal, tetapi perbedaan yang signifikan dalam indeks kelangsungan hidup diamati pada dosis 30 Gy dan kelangsungan hidup tunas menurun drastis bahkan tidak tumbuh sama sekali.

Persentase tumbuh kalus tertinggi diperoleh dari varietas dewata yang telah diberi perlakuan irradiasi sebesar 7,5 Gy yang berbeda

nyata dengan hasil perlakuan irradiasi 30 Gy. Hasil tanpa perlakuan (kontrol) lebih tinggi dibandingkan hasil irradiasi 7,5 Gy. Sedangkan irradiasi 15 Gy hampir sama pertumbuhan kalusnya dengan 7,5 Gy. Kalus yang telah diberi perlakuan irradiasi pada dosis (7,5 – 30 Gy) dapat beregenerasi membentuk tunas *in vitro*, hanya saja pada dosis 30 Gy kalus berubah warna menjadi albino.

Jumlah tunas yang dihasilkan dari masing-masing varietas berbeda-beda tergantung pada dosis irradiasi yang digunakan. Dalam hal ini kontrol mempunyai jumlah tunas tertinggi dibandingkan dosis irradiasi lainnya. Jumlah tunas tertinggi dihasilkan dari varietas dewata hasil perlakuan irradiasi sinar gamma pada dosis 15 Gy, sedangkan terendah dihasilkan pada dosis 22,5 Gy (Gambar 1). Pada dosis 30 Gy tidak menghasilkan tunas dan warna kalus berubah menjadi albino (gambar 3). Hasil yang berbeda bisa disebabkan karena tingkat kepekaan yang berbeda dari varietas dewata yang digunakan terhadap tingkat kerusakan sel/jaringan.

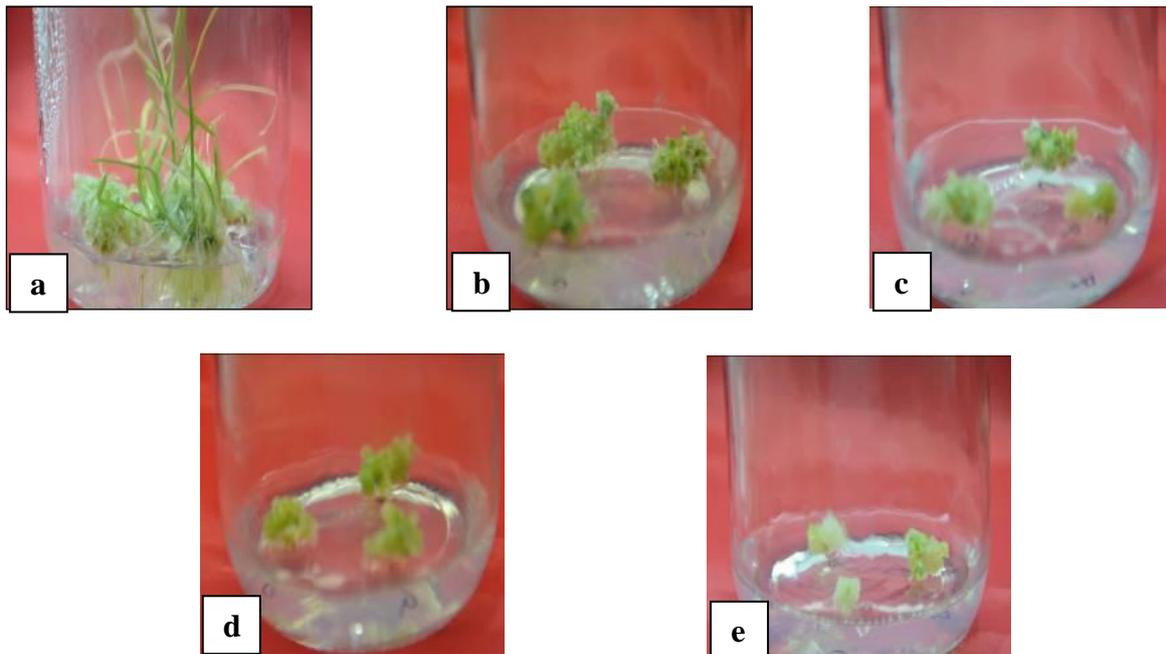


**Gambar 2.** Grafik persentase tunas varietas dewata setelah perlakuan irradiasi sinar gamma umur 2.5 bulan

Hasil analisa program *bestcurve-fit analysis* untuk menentukan lethal dosis 20 (LD<sub>20</sub>) dan 50 (LD<sub>50</sub>), maka diperoleh persamaan model terbaik berdasarkan kedua parameter pengamatan. Penentuan lethal dosis irradisi pada kalus gandum berdasarkan parameter persentase tumbuh tunas sampai umur 2,5 bulan setelah irradiasi maka diperoleh persamaan model terbaik adalah quadratic dengan persamaan  $y = 86,285 - 6,47 x + 0,13 x^2$ , sehingga diperoleh lethal dosis LD<sub>50</sub> = 6,41 Gy serta LD<sub>20</sub> = 0,99 Gy (Gambar 2).

Pada gambar 2, grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis irradiasi yang digunakan, maka persentase tunas yang tumbuh semakin sedikit atau daya regenerasi semakin rendah. Evaluasi keragaman fenotipik tanaman hasil mutasi induksiv secara *in vitro* dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.

Berdasarkan kedua hasil analisa diatas maka untuk peningkatan keragaman genetik kalus gandum terdapat pada perlakuan irradiasi antara LD 20 dan LD 50 yaitu dosis irradiasi sinar gamma 15 – 22,5 Gy.



**Gambar 3.** Penampilan visual kalus gandum varietas Dewata hasil mutasi sinar Gamma (a) Kontrol, (b) 7,5 Gy, (c) 15 Gy, (d) 22,5 Gy, (e) 30 Gy.

### KESIMPULAN

1. Persentase hiduptunasmenurun sejalan dengankenaikan dosis irradiasi.
2. Kelangsungan hiduptunasmenurun drastis bahkan tidak tumbuh sama sekali dan berwarna albino pada dosis 30 Gy.
3. Persentase hidup tunas tertinggi pada dosis 15 Gy.
4. Persentase tumbuh kalus tertinggi terdapat pada dosis 7,5 Gy.
5. Semakin tinggi dosis iradiasi yang digunakan, maka persentase tunas yang tumbuh semakin sedikit atau daya regenerasi semakin rendah.
6. Peningkatan keragaman genetik kalus gandum terdapat pada perlakuan irradiasi antara LD 20 dan LD 50 yaitu dosis irradiasi sinar gamma 15 – 22.5 Gy.
7. Penentuan lethal dosis irradisi pada kalus gandum berdasarkan parameter persentase tumbuh kalus dan persentase kalus yang bertunas mempunyai model terbaik quadratik berdasarkan persentase tumbuhtunas  $Y = 86,28 - 6,47x + 0,13x^2$ ,  $LD_{20} = 0,99Gy$  dan  $LD_{50} = 6,41Gy$  dan berdasarkan persentase tumbuh kalus  $Y = 100,28 - 0,87x - 0,05x^2$ ,  $LD_{20} = 13,14Gy$  dan  $LD_{50} = 24,00Gy$ .

### DAFTAR PUSTAKA

- Al-Safadi, B., and Simon P. W. 2000. Gamma Irradiation Induced Variation in Carrots. *J. Amer Soc. Hort. Sci.* 121: 599-603.
- Banerji, B.K., and Datta S.K. 1992. Gamma Ray Induced Flower Shape Mutation in Chrysanthemum cv Java. *J. Nuclear Agric. Biol.* 21(2):73-79.
- Bibi, S., Khan I.A., Bughio H., Odhano I.A., Asad M.A., and Khatri A. 2009. Genetic Differentiation of Rice Mutants Based on Morphological Traits and Molecular Marker (RAPD). *Pak. J. Bot.*, 41 (2): 737-743.
- Charbaji and I. Nabuisi. 1999. Effect of Low Doses of Gamma Irradiasi on In Vitro Growth of Grapevine. *Plant Cell Tiss. Org.Cult.* 57:129-132.
- Cheng, X.Y., Gao M.W., Liang Z.Q., and Liu K.Z. 1990. Effect of Mutagenic Treatments on Somaclonal Variation in Wheat (*Triticum aestivum*). *Plant Breeding* 105 : 47 – 52.
- Crowder, L.V. 1993. Genetika Tumbuhan. Terjemahan Kusdiarti, L., Sutarso (ed). Gajah Mada University Press, Yogyakarta : 323 - 351.
- Danakusuma, T. 1985. Hasil penelitian Gandum dan prospek pengembangannya. Di

- dalam: Subandi *et al.* (eds). Risalah Rapat Teknis Hasil Penelitian Jagung. Sorgum dan Gandum Puslitbangtan, Bogor. p.189-202.
- Datta, S.K. 2001. Mutation Studies on Garden Chrysanthemum: A review. *Sci. Hort.* 7:159-199.
- Fehr, W. R. 1987. Principles of Cultivar Development. Theory and Technique. Vol.1. Macmillan Publishing Company. NY.
- Ismachin, M. 1988. Pemuliaan Tanaman dengan Mutasi Buatan. Jakarta: Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Atom Nasional.
- Kuksova, V.B; Poven N.M., and Geleba Y.Y. 1997. Somaclonal Variation and In Vitro Induced Mutagenesis in Grapevine. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 49: 17-27.
- Larik, A.S., Memon, S., and Soomro, Z.A. 2009. Radiation Induced Polygenic Mutations in *sorghum bicolor*. *J. Agric. Res.* 47 (1).
- Maluzynski, M.K., L. Nichterlein., Van Zanten., and B.S. Ahloowalia. 2000. Officially Released Mutant Varieties the FAO/IAEA Database. *Mut.Breed. Rev.* 12:1-84.
- Medina, F.I.S., Amano E., and Tano S. 2005. Mutation Breeding Manual. Japan. Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA).
- P3TP. 2008. Prospek dan arah pengembangan agribisnis gandum. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Singh, N.K., and Balyan, H.S. 2009. Induced Mutation in Bread Wheat (*Triticum aestivum*L.) Cv. Kharcia 65 for Reduced Plant Height and Improve Grain Quality Traits. *Adv. In Biol. Res.* 3(5-6):215-221.
- Sleper, D.A., and Poehlman J.M. 2006. Breeding Field Crops. Ed. Ke-5. Iowa : Blackwell Publishing.
- Soeranto, H. 2003. Peran iptek nuklir dalam pemuliaan tanaman untuk mendukung industri pertanian. Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).
- Soeranto, H. 2012. Pemanfaatan teknologi nuklir untuk pemuliaan sorghum. Makalah Workshop on the current status and challenges in sorghum development in Indonesia. SEAMEO BIOTROP, Bogor, 25-26 September 2012.
- Vrinten, P., Nakamura T., and Yamamori M. 1999. Molecular Characterization of Waxy Mutations in Wheat. *Mol. Gen Genet.* 261 : 463 – 471.
- Wattimena, G.A. 1992. Bioteknologi Tanaman I. Pusat Antar Universitas Bioteknologi Institut Pertanian Bogor.
- Witjaksono. 2003. Bioteknologi Untuk Perbaikan Tanaman Buah. Laboratorium Kultur Sel dan Jaringan Tanaman, Bidang Botani. Pusat Penelitian Biologi-LIPI, Bogor.
- Witternberg, H. 2004. The Inheritance and Molecular Mapping of Genes for Post-anthesis Drought Tolerance (PADT) in Wheat [Dissertation]. Martin Luther Universitat.