

STUDI RADIOSENSITIVITAS LIMA GALUR GANDUM TERHADAP PERLAKUAN IRADIASI SINAR GAMMA PADA FASE BIBIT

Radiosensitivity Study of Five Wheat Lines by Gamma Rays Irradiation on Seedling Phase

Wijaya Murti Indriatama¹, Sihono¹, Soeranto Human¹

¹Center for Isotope and Radiation Application–National Nuclear Energy Agency, Jakarta, Indonesia, Jl. Lebak Bulus Raya 49, Jakarta 12440

*Penulis untuk korespondensi: wijaya@batan.go.id

ABSTRACT

Increasing of wheat import of Indonesia needs some solutions. One of them is creating a new high productive wheat variety. It will be done via mutagenesis through gamma irradiation. Radiosensitivity test was needed to determine optimal doses of gamma irradiation which is able to increase genetic variability of population in the 2nd generation (M2). The research objectives were to examine radiosensitivity through determination of LD (Lethal Dose) and RD (Reduction Dose) after gamma irradiation treatment on the seedling phase of wheat. Five introduced breeding lines of wheat (F-44, Y-39, S-90, K-95 and WL-711) were treated by 0-1,000 Gy doses of gamma rays. The seeds were planted on the sand chamber. Data regarding the seedling emergence (%) and height (cm) were observed 2 weeks after sowing. The result showed that there was different radiosensitivity of five wheat lines. Radiosensitivity test found LD₅₀ for line F-44, Y-39, S-90, K-95 and WL-711 was 465, 431, 485, 579 and 497 Gy respectively. F-44, Y-39, S-90, and WL-711 lines were more sensitive to gamma irradiation than K-95 line. The RD₅₀ calculations of five wheat lines were obtained 529, 510, 431, 569 and 557 Gy, respectively. The S-90 line showed the highest sensitivity to gamma rays irradiation. The radiosensitivity test through LD₅₀ and RD₅₀ approach can be used as a reference to determine irradiation doses to obtain a wide variability in induced mutation of wheat.

Keywords: lethal dose, reduction dose, seedling phase, wheat

ABSTRAK

Kebutuhan gandum Indonesia terus meningkat. Perakitan varietas unggul melalui induksi mutasi sinar gamma dapat menjadi salah satu solusinya. Uji radiosensitivitas perlu dilakukan untuk menentukan dosis iradiasi yang tepat agar didapat keragaman genetik optimum pada generasi kedua (M2). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui radiosensitivitas melalui penentuan LD (*Lethal Dose*) dan RD (*Reduction Dose*) dengan perlakuan iradiasi gamma pada gandum. Uji radiosensitivitas dilakukan pada benih lima galur gandum (F-44, Y-39, S-90, K-95 dan WL-711) yang diradiasi dengan dosis 0–1,000 Gy menggunakan rentang 100 Gy. Penanaman dilakukan dengan bak kecambah. Parameter yang diamati antara lain daya tumbuh (%) dan tinggi bibit (cm). Hasil pengujian radiosensitivitas lima galur gandum menunjukkan adanya variasi LD₅₀ dan RD₅₀ antar galur gandum. Uji radiosensitivitas mendapatkan LD₅₀ galur F-44, Y-39, S-

90, K-95 dan WL-711 secara berturut-turut adalah 465, 431, 485, 579 dan 497 Gy. Galur F-44, Y-35, S-90 dan WL-711 lebih sensitif terhadap iradiasi dibanding galur K-95. Penghitungan dosis reduksi (RD_{50}) lima galur gandum diperoleh nilai berturut-turut 529, 510, 431, 569 dan 557 Gy. Galur S-90 menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi terhadap iradiasi sinar gamma. Pendekatan uji radiosensitivitas LD_{50} dan RD_{50} dapat dijadikan referensi dalam penentuan dosis iradiasi untuk memperoleh ragam yang luas dalam induksi mutasi pada gandum.

Kata kunci: dosis letal, dosis reduksi, fase bibit, gandum

PENDAHULUAN

Impor gandum Indonesia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Data Kementerian Pertanian (2017) menyebutkan bahwa impor gandum Indonesia tahun 2015 mencapai 7.62 juta ton dan meningkat pada tahun 2016 menjadi 10.81 juta ton. Ketergantungan pada sumber pangan impor akan membahayakan ketahanan pangan dalam negeri serta memperbesar pengeluaran devisa negara. Upaya penelitian saat ini masih dilakukan untuk mengadaptasikan gandum agar baik ditanam di dalam negeri (Setyowati & Hanarida, 2009).

Program pemuliaan perakitan varietas gandum saat ini terkendala dengan keragaman plasma nutfah gandum Indonesia yang sangat terbatas. Langkah pemecahan yang ditempuh yaitu dengan melakukan peningkatan keragaman genetik. Variabilitas genetik menjadi kunci dalam program pemuliaan gandum untuk mendapatkan ideotipe tanaman gandum yang diinginkan. Salah satu metode yang dapat ditempuh untuk meningkatkan keragaman genetik tanaman adalah mutasi induksi (Kurowska *et al.*, 2012).

Induksi mutasi untuk pemuliaan tanaman telah terbukti mampu menghasilkan banyak varietas unggul baru di berbagai negara (Parry *et al.*, 2009). Perlakuan ini relatif mudah dan dapat dipadukan dengan metode yang lain untuk meningkatkan efektivitas program pemuliaan (Giura, 2013). Berdasarkan sumber data IAEA (2013), mutan unggul yang terdaftar telah berjumlah 3218 meliputi 1589 sereal, 492 kacang-kacangan, 642 bunga, 110 tanaman penghasil minyak dan 378 jenis tanaman yang lain. Mutan gandum unggul yang telah dihasilkan melalui metode ini mencapai 254 jenis.

Besarnya dosis, laju dosis serta metode perlakuan mutagen merupakan beberapa faktor yang menentukan besarnya spektrum dan laju mutasi hasil induksi. Radiosensitivitas antar galur dan spesies bervariasi tergantung pada faktor genetik (volume inti, jumlah kromosom, level ploidi) serta kondisi lingkungan sebelum dan sesudah perlakuan mutagen fisik (Han *et al.*, 2016). Optimasi dosis melalui pengujian radiosensitivitas perlu dilakukan guna memperoleh dosis yang tepat (Albokari *et al.*, 2012). Penggunaan dosis dan perlakuan iradiasi yang tepat dapat meminimalkan pengaruh negatif iradiasi, memberikan pengaruh baik terhadap penampilan karakter agronomi tanaman generasi M1 dan meningkatkan keragaman genetik pada generasi M2 (Nunoo *et al.*, 2014).

Penampilan bibit menjadi salah satu bagian penting untuk mengetahui dampak aplikasi perlakuan iradiasi sebagai informasi dasar dalam menentukan besaran penggunaan perlakuan iradiasi (Ambavane *et al.*, 2015). Pengaruh iradiasi ditandai dengan penurunan viabilitas benih, penghambatan pertumbuhan

tanaman serta meningkatnya persentase sterilitas (Aney, 2014). Pengukuran radiosensitivitas gandum menggunakan dosis letal telah dilakukan pada penelitian sebelumnya (Indriatama, 2016; Suryani *et al.*, 2017). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui radiosensitivitas gandum terhadap aplikasi iradiasi sinar gamma pada fase bibit melalui pendugaan dosis letal dan dosis reduksi.

BAHAN DAN METODE

Materi genetik yang digunakan pada percobaan ini adalah benih 5 galur gandum introduksi meliputi galur F-44, Y-39, K-95, S-90 dan WL-711. Benih yang dipergunakan merupakan hasil perbanyakan di Cipanas tahun 2013 dengan kadar air benih 13%. Iradiasi benih menggunakan sinar gamma dilaksanakan di Balai Iradiasi, Elektromekanik dan Instrumentasi, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR-BATAN), Pasar Jumat, Jakarta Selatan.

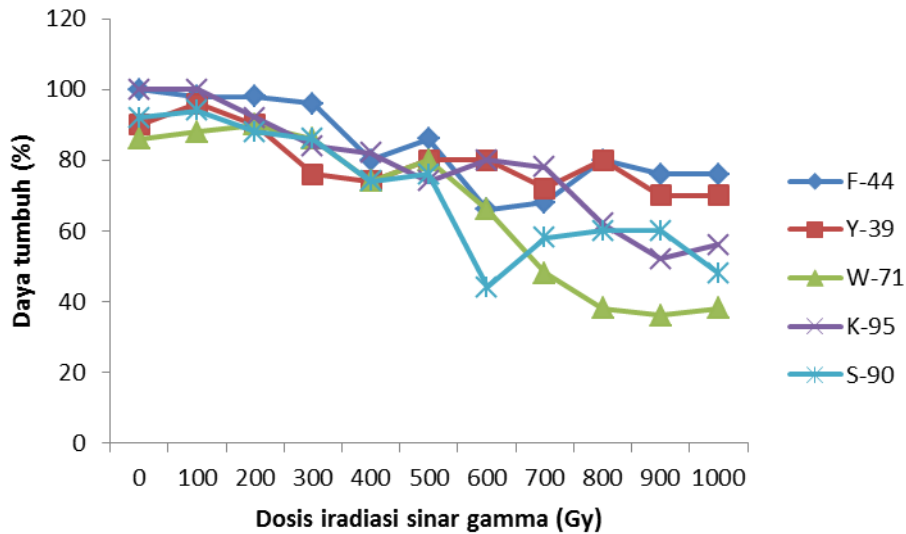
Pengujian radiosensitivitas dilakukan bulan Februari 2013 di rumah kaca PAIR-BATAN. Percobaan dilaksanakan dengan meradiasi benih gandum berdasarkan metode iradiasi akut menggunakan alat Gamma Chamber 4000Å (aktivitas Co_{60} 721,202 Ci; dengan laju dosis 0,571 kGy/jam; dikalibrasi dengan metode Fricke). Dosis yang digunakan dalam percobaan radiosensitivitas gandum adalah 0 (kontrol), 100 sampai 1000 Gy dengan rentang 100 Gy. Sebanyak 100 benih dari tiap galur yang telah diradiasi, ditumbuhkan pada bak pasir. Pengamatan daya tumbuh dan tinggi bibit dilakukan pada hari ke-7, ke-14 dan ke-21, dievaluasi jumlah bibit yang masih mampu tumbuh dan bertahan (*survival rate*) untuk menentukan nilai dosis letal khususnya LD_{20} dan LD_{50} masing-masing galur. Sedangkan pengamatan tinggi bibit digunakan untuk menentukan nilai dosis reduksi yang mempengaruhi penghambatan pertumbuhan akibat aplikasi sinar gamma. Dosis reduksi yang akan diduga meliputi RD_{20} dan RD_{50} . Nilai LD_{20} dan LD_{50} serta RD_{20} dan RD_{50} gandum yang diuji ditentukan dengan menggunakan program *Curve Expert 1.3*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

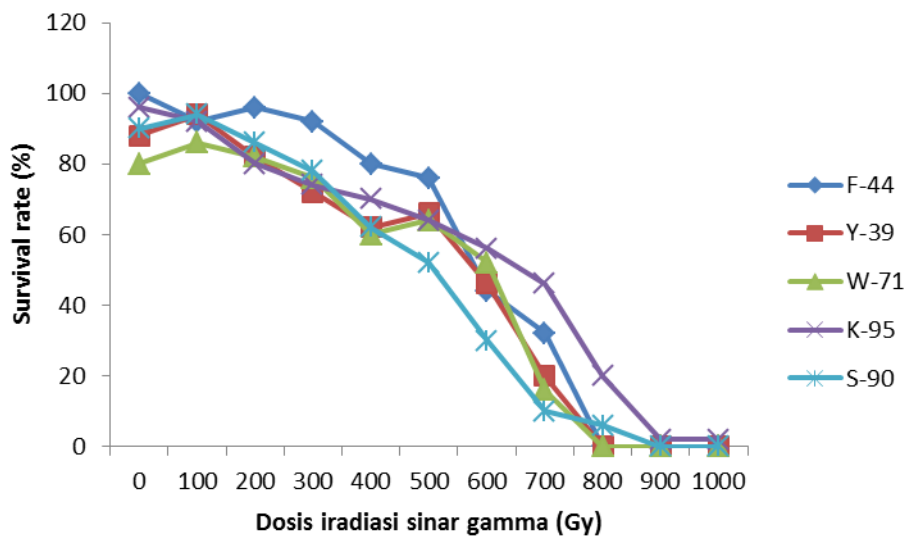
Hasil pengamatan pengaruh perlakuan dosis iradiasi sinar gamma yang berbeda pada daya tumbuh gandum minggu pertama terlihat pada Gambar 1. Lima galur gandum yang diuji memiliki respon yang berbeda terhadap dosis iradiasi yang diaplikasikan. Daya tumbuh benih perlakuan kontrol (tanpa iradiasi) kelima galur gandum semuanya lebih dari 80%. Hal ini menunjukkan bahwa benih yang digunakan layak untuk digunakan dalam studi radiosensitivitas. Kelima galur gandum yang diuji menunjukkan respon yang hampir sama pada perlakuan dosis iradiasi 100–500 Gy. Namun perlakuan di atas 500 Gy mampu menginduksi respon yang berbeda antar galur gandum. Besarnya daya tumbuh gandum pada dosis di atas 500 Gy membuat pengukuran radiosensitivitas menggunakan daya tumbuh tidak dapat dilakukan.

Gambar 2 menunjukkan hasil pengamatan pengaruh dosis iradiasi gamma yang berbeda pada daya kelangsungan hidup (*survival rate*) gandum tiga minggu setelah tanam. Nilai *survival rate* kelima galur gandum terus menurun seiring bertambahnya dosis iradiasi yang diberikan. Dosis 900 dan 1000 Gy memicu kematian semua benih yang telah berkecambah pada minggu pertama setelah tanam. Dosis 800 Gy mampu menyebabkan kematian semua benih galur F-44, Y-39 dan WL-711 yang sempat berkecambah pada minggu pertama. Pola survival

rate yang terus menurun dan menyentuh nilai 0 pada perlakuan iradiasi dosis tinggi menunjukkan adanya kemungkinan pendugaan radiosensitivitas menggunakan variabel *survival rate*.

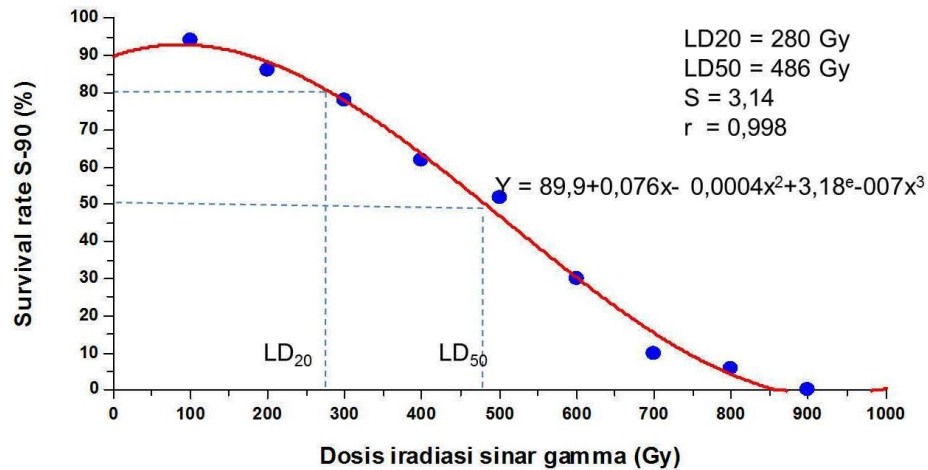


Gambar 1. Daya tumbuh tiga galur gandum dalam uji radiosensitivitas pada dosis iradiasi 0-1000 Gy saat minggu pertama setelah tanam



Gambar 2. Laju kelangsungan hidup (*survival rate*) lima galur gandum dalam uji radiosensitivitas pada dosis iradiasi 0-1000 Gy saat minggu ke-3 setelah tanam

Pengujian radiosensitivitas merupakan ukuran relatif kerentanan suatu organisme, organ, jaringan atau sel terhadap dampak kerusakan yang ditimbulkan oleh radiasi pengion (Gupta *et al.*, 2016). Parameter yang dapat digunakan dalam melihat radiosensitivitas tanaman yaitu daya tumbuh atau *survival rate* maupun penurunan atau penghambatan tumbuh. Penelitian ini hanya menggunakan nilai *survival rate* dan tinggi bibit untuk menduga radiosensitivitas kelima galur gandum.



Gambar 3. Kurva radiosensitivitas galur S-90 terhadap iradiasi sinar gamma berdasar data laju kelangsungan hidup tiga minggu setelah tanam

Tabel 1. Tipe kurva, rumus fungsi, simpangan (S) dan nilai koefisien determinasi (R^2) radiosensitivitas lima galur gandum berdasarkan nilai *survival rate*

Galur	Tipe kurva	Rumus fungsi	Nilai S	Nilai R^2
F-44	Sinusoidal	$Y = 48.76 + 51.29 \cdot \cos(0.003 + 0.20)$	4.76	0.994
K-95	Kuadratik	$Y = 99.16 - 0.055x - 5.1E-05x^2$	6.66	0.986
WL-711	Kuadratik	$Y = 108.66 - 0.12x - 1.98E-06x^2$	7.84	0.985
Y-39	Polinomial	$Y = 87.2 + 0.065x - 0.0004x^2 + 2.22E-007x^3$	8.36	0.982
S-90	Polinomial	$Y = 89.9 + 0.076x - 0.0004x^2 + 3.18E-007x^3$	3.14	0.998

Contoh hasil olah data menggunakan *curve finder* pada program *curve expert* ditunjukkan pada Gambar 3. Masing galur yang diuji memiliki pola kurva yang berbeda-beda yang terangkum dalam Tabel 1. Gambar 3 dan Tabel 1 menunjukkan data *survival rate* galur S-90 membentuk tipe kurva polinomial sama dengan galur Y-39. Galur F-44 (Tabel 1) memiliki pola kurva sinusoidal. Pola kurva polinomial dan sinusoidal memiliki kemiripan dimana perlakuan dosis iradiasi 100 Gy meningkatkan laju kelangsungan hidup, lebih tinggi dibanding kontrol (0 Gy) kemudian mengalami penurunan pada dosis iradiasi yang lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Singh dan Datta bahwa perlakuan iradiasi gamma dosis rendah pada gandum dapat digunakan untuk menstimulasi peningkatan vigor tanaman (Singh & Datta, 2010). Fenomena ini disebut sebagai hormesis. Hormesis merupakan kejadian stimulasi terhadap proses biologi benih misalnya percepatan kecambah serta peningkatan pertumbuhan daun dan akar akibat perlakuan iradiasi dosis rendah pada benih (Jan *et al.*, 2012).

Galur K-95 dan WL-711 (Tabel 1.) memiliki pola grafik kuadratik, laju kelangsungan hidupnya mengalami penurunan seiring bertambahnya dosis iradiasi yang diberikan. Penurunan laju kelangsungan hidup akibat iradiasi dosis tinggi juga diperoleh pada penelitian gandum roti Albokari *et al.* (2012). Selain itu, perlakuan iradiasi dosis tinggi pada gandum juga dapat menurunkan daya tumbuh, menghambat pertumbuhan tajuk dan akar serta menurunkan kadar klorofil pada fase kecambah (Borzouei *et al.*, 2010). Penurunan daya tumbuh dan pertumbuhan tanaman akibat iradiasi disebabkan oleh peningkatan kerusakan kromosom dan gangguan fisiologi dalam sel tanaman (Girija & Dhanavel, 2013). Paparan iradiasi pengion khususnya sinar gamma pada dosis tinggi dapat

merusak atau memodifikasi komponen seluler tanaman yang berdampak pada perubahan morfologi, anatomi, biokimia dan fisiologi tanaman misalnya kerusakan membran tilakoid, penghambatan laju fotosintesis, modulasi sistem antioksidatif dan akumulasi senyawa fenolik (Jan *et al.*, 2012).



Gambar 4. Pengujian radiosensitivitas gandum menggunakan bak pasir

Dosis letal (LD) didefinisikan sebagai dosis dimana sejumlah tanaman mengalami kematian setelah diberikan perlakuan mutagen fisik. LD₅₀ menunjukkan dosis dimana 50% tanaman mati setelah diiradiasi (Hanafiah *et al.* 2011). Nilai LD₂₀ dan LD₅₀ lima galur gandum dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai LD₅₀ menunjukkan bahwa galur K-95 memiliki resistensi tertinggi terhadap radiasi, namun urutan berubah pada nilai LD₂₀ dimana galur S-90 (280 Gy) tetap menjadi yang tertinggi. Perbedaan pola tinggi rendahnya dosis letal menunjukkan perbedaan respon radiosensitivitas lima galur gandum. Adapun perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh faktor genetik galur, kadar air maupun kondisi fisiologi dalam benih saat diradiasi (Han *et al.* 2016).

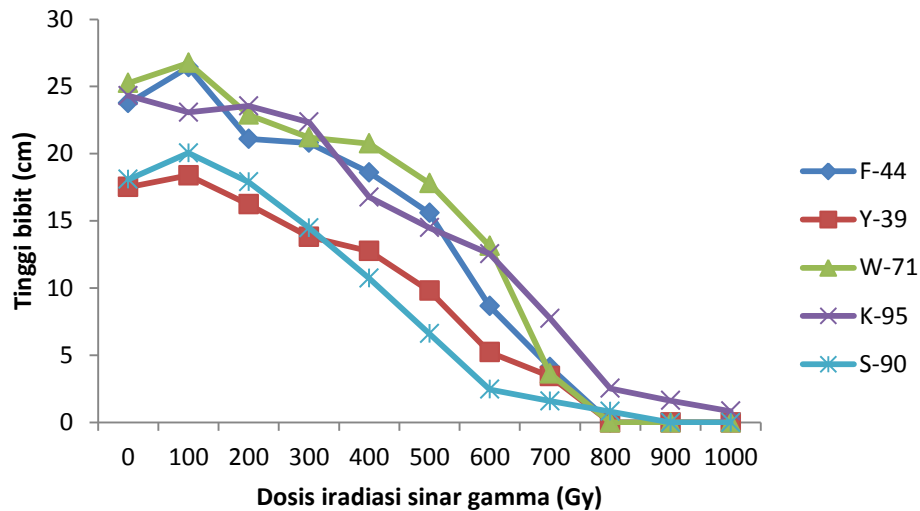
LD₅₀ yang diperoleh dari lima galur gandum berkisar antara 465-579 Gy, cenderung lebih tinggi dibanding LD₅₀ pada penelitian lain. Pengujian radiosensitivitas 4 galur gandum oleh Albokari *et al.* (2012) mendapatkan LD₅₀ dalam kisaran 179 – 256 Gy. Khan *et al.* (2003) mendapatkan nilai LD₅₀ gandum pada dosis sekitar 300 Gy. Besarnya LD₅₀ gandum pada penelitian ini disebabkan oleh telah menurunnya aktivitas sumber iradiasi gamma (Co₆₀) yang digunakan. Hal ini berdampak pada menurunnya infiltrasi energi iradiasi gamma dan bertambahnya kebutuhan waktu untuk mencapai dosis serap yang diinginkan sehingga menurunkan kerusakan fisiologis dan morfologi akibat iradiasi. Berkurangnya kerusakan akan mempercepat pemulihan individu benih yang telah diradiasi. Hal ini memungkinkan tiap benih tetap berkecambah dan tumbuh walaupun telah terpapar radiasi dalam dosis tinggi.

Tabel 2. Nilai LD₂₀ dan LD₅₀ pada 5 galur gandum

Galur	LD ₂₀ (Gy)	LD ₅₀ (Gy)	Keterangan
F-44	247	465	*Indriatama (2016)
K-95	276	579	
WL-711	244	497	
Y-39	264	561	*Suryani <i>et al.</i> (2017)
S-90	280	486	

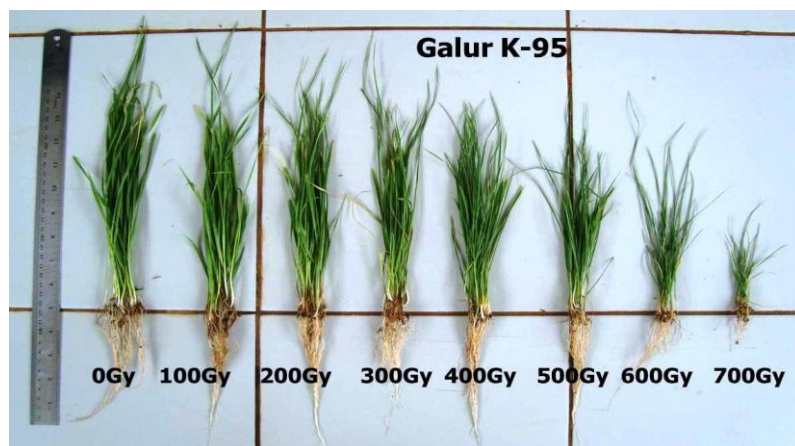
Keterangan: *Data telah dipublikasi

Nilai LD₂₀ tiga galur gandum yang diuji berkisar antara 244-280 Gy, sedangkan nilai LD₅₀ diperoleh dalam rentang 465–579 Gy. Aplikasi dosis di atas LD₅₀ akan menurunkan daya tumbuh dan memunculkan banyak abnormalitas pada tanaman hasil induksi mutasi. Penggunaan LD₅₀ pada perlakuan iradiasi dikhawatirkan menurunkan jumlah benih yang dihasilkan sehingga memperkecil populasi penanaman berikutnya. LD₂₀ memiliki rentang yang lebih kecil dan termasuk dalam rentang LD₅₀ gandum pada penelitian Khan *et al.* (2003) dan Albokari *et al.* (2012).



Gambar 5. Penghambatan peningkatan tinggi bibit lima galur gandum dalam uji radiosensitivitas pada dosis iradiasi 0-1000 Gy saat minggu ke-2 setelah tanam

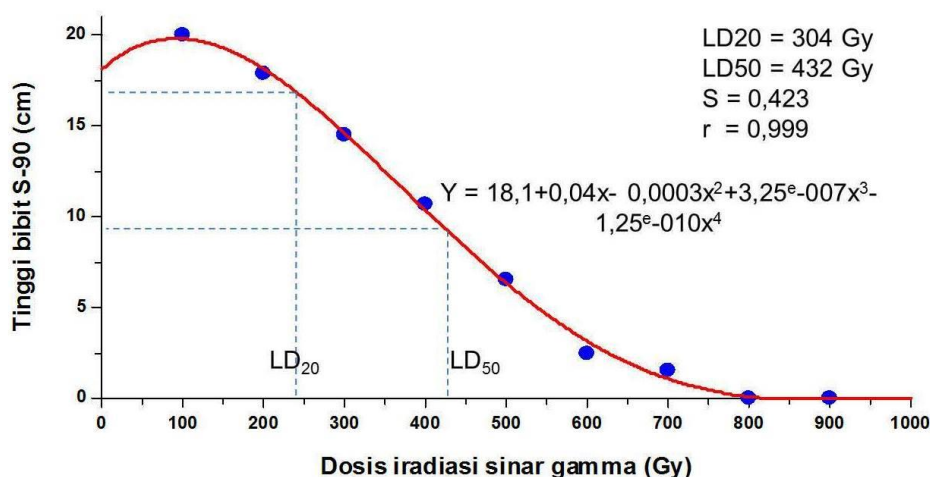
Hasil pengamatan pengaruh dosis iradiasi sinar gamma pada pertumbuhan bibit gandum dapat dilihat pada Gambar 5. Perlakuan dosis rendah 100 Gy tidak menurunkan pertumbuhan bibit lima galur gandum kecuali galur K-95. Perlakuan iradiasi dosis tinggi di atas 200 Gy memperlihatkan dampak penghambatan pada pertumbuhan bibit kelima galur yang diuji. Penurunan tinggi bibit pada perlakuan iradiasi sinar gamma dosis tinggi diperoleh sebagai akibat terganggunya fisiologi benih akibat iradiasi (Ousmane *et al.*, 2013).



Gambar 6. Tampilan penurunan pertumbuhan bibit akibat perlakuan iradiasi sinar gamma

Gambar 6 menunjukkan penampilan bibit gandum galur K-95 yang dipanen tiga minggu setelah tanam. Penghambatan pertumbuhan bibit sangat terlihat pada perlakuan iradiasi 400 Gy. Pengukuran bibit hanya dilakukan pada tajuk tanaman karena sebagian perakaran rusak saat pemanenan. Pendugaan radiosensitivitas melalui penghambatan tumbuh dilakukan dengan menggunakan tinggi bibit (Suryani *et al.* 2017).

Hasil pengukuran tinggi bibit dapat menjadi indikator utama dampak biologis akibat iradiasi sinar gamma pada benih dan pertumbuhan bibit (Ousmane *et al.* 2013). Data tersebut dapat digunakan untuk menghitung *reduction dose* (dosis reduksi) penghambatan tumbuh pada fase bibit.



Gambar 7. Kurva radiosensitivitas galur S-90 terhadap iradiasi sinar gamma berdasar data tinggi bibit tiga minggu setelah tanam

Tabel 3. Tipe kurva, rumus fungsi, simpangan (S) dan nilai koefisien determinasi (R²) radiosensitivitas lima galur gandum berdasarkan penghambatan pertumbuhan bibit

Galur	Tipe Kurva	Rumus Fungsi	Nilai S	Nilai R ²
F-44	Polinomial	$Y = 24.4-0.0008x- 5.66e-06x^2-1.19e-07x^3+1.02e-010x^4$	1.61	0.993
K-95	Sinusoidal	$Y = 12.2+12*\cos(0.003-0.26)$	1.23	0.994
WL-711	Sinusoidal	$Y = 12.4+13.4*\cos(0.004-0.45)$	2.23	0.984
Y-39	Polinomial	$Y = 17.54+0.01x- 8.4e-05x^2+5.6e-08x^3$	0.78	0.996
S-90	Polinomial	$Y = 18.1+0.04x- 0.0003x^2+3.25e-007x^3-1.25e-010x^4$	0.43	0.999

Tabel 4. Nilai RD₂₀ dan RD₅₀ pada 5 galur gandum

Galur	RD ₂₀ (Gy)	RD ₅₀ (Gy)
F-44	375	546
K-95	363	568
WL-711	389	557
Y-39	329	505
S-90	303	449

Contoh hasil olah data tinggi bibit S-90 menggunakan *curve finder* pada program *curve expert* ditunjukkan pada Gambar 7. Masing galur yang diuji memiliki pola kurva yang berbeda berdasar nilai penghambatan tumbuh dan

terangkum dalam Tabel 3. Gambar 7 dan Tabel 3 menunjukkan bahwa tinggi bibit galur S-90 membentuk tipe kurva polynomial sama dengan galur F-44 dan Y-39. Sedangkan galur K-95 dan WL-711 (Tabel 1) memiliki pola kurva sinusoidal.

Nilai RD_{50} (*reduction dose*, dosis reduksi) pada Tabel 4 menunjukkan bahwa galur K-95 memiliki resistensi tertinggi terhadap radiasi, namun urutan berubah pada nilai RD_{20} dimana galur WL-711 (389 Gy) menjadi yang tertinggi. Nilai RD_{20} tiga galur gandum yang diuji berkisar antara 303-389 Gy, sedangkan nilai RD_{50} diperoleh dalam rentang 449 – 568 Gy. Nilai LD_{50} dan RD_{50} kelima galur gandum rentang yang relatif sama. Sedangkan pendugaan nilai LD_{20} dan RD_{20} memiliki rentang yang berbeda. LD_{20} memiliki nilai yang lebih rendah dibanding RD_{20} . Kesamaan rentang pada nilai LD_{50} dan RD_{50} menunjukkan bahwa nilai dosis reduksi dapat digunakan untuk mengukur radiosensitivitas pada bibit gandum sebagaimana dosis letal.

KESIMPULAN

Terdapat perbedaan nilai radiosensitivitas lima galur gandum asal yang diuji, ditunjukkan dengan perbedaan nilai LD_{50} dan RD_{50} pada masing-masing galur. Galur K-95 memiliki resistensi tertinggi terhadap iradiasi berdasarkan nilai LD_{50} maupun RD_{50} . Pendugaan radiosensitivitas menggunakan dosis reduksi tinggi bibit dapat menjadi alternatif bila nilai dosis letal tidak dapat diperoleh. Penurunan viabilitas dan penghambatan tumbuh bibit gandum akibat iradiasi sinar gamma menunjukkan bahwa proses awal induksi mutasi telah terjadi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada PAIR-BATAN yang telah membiayai penelitian ini melalui Program DIPA 2013.

DAFTAR PUSTAKA

- Albokari, M.M.A., S.M. Alzahrani, A.S. Alsalman. 2012. Radiosensitivity of some local cultivars of wheat (*Triticum Aestivum* L.) to gamma irradiation. *Bangladesh Journal of Botany*. 41(1):1–5.
- Ambavane, A.R., S.V. Sawardekar, S.A. Sawantdesai, N.B. Gokhale. 2015. Studies on mutagenic effectiveness and efficiency of gamma rays and its effect on quantitative traits in finger millet (*Eleusine Coracana* L. Gaertn). *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 8(1):120–125.
- Aney, A.K. 2014. Effect of Gamma irradiation on floral morphology and pollen viability in two varieties of pea (*Pisum Sativum* L.). *International Journal of Life Sciences* 2 (3): 217–122.
- Borzouei, A., M. Kafi, H. Khazaei, B. Naseriyan, A. Majdabadi. 2010. Effects of gamma radiation on germination and physiological aspects of wheat (*Triticum Aestivum* L.) seedlings. *Pak. J. Bot.* 42(4):2281–2290.
- Girija, M., D. Dhanavel. 2013. Effect of gamma rays on quantitative traits of cowpea in m1 generation. *International Journal of Research in Biological Sciences*. 3(2):84–87.
- Giura, A. 2013. Wheat mutagenesis by combining hybridization and DH-technology recurrent irradiation. 17(4):114–118.

- Gupta, N., S. Sood, Y. Singh, D. Sood. 2016. Determination of lethal dose for gamma rays and ethyl methane sulphonate induced mutagenesis in okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench.). SABRAO J. Breed. Genet. 48(3):344-351.
- Han, B., J. Gu, L. Zhao, H. Guo, Y. Xie, S. Zhao, X. Song, L. Han, L. Liu. 2016. Factors Affecting the radiosensitivity of hexaploid wheat to -irradiation: radiosensitivity of hexaploid wheat (*Triticum Aestivum* L.)." Plos One. 11(8):e0161700. doi:10.1371/journal.pone.0161700.
- Hanafiah, D.S., Trikoesoemaningtyas, S. Yahya, D. Wirnas. 2011. Penggunaan mikro irradiasi sinar gamma untuk meningkatkan keragaman genetik pada varietas kedelai argomulyo (*Glycine Max* (L.) Merr). Jurnal Natur Indonesia. 14(1):80–85.
- [IAEA] International Atomic Energy Agency. 2013. Mutant Variety Database [internet]. Vienna (AT): IAEA. [Diunduh 2013 Des 22]. Tersedia dari <http://mvgs.iaea.org/AboutMutantVarieties.aspx>.
- Indriatama, W.M. 2016. Keragaman genetik gandum (*Triticum aestivum* L.) hasil perlakuan tiga teknik iradiasi sinar gamma. Tesis. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Jan, S., T. Parween, T.O. Siddiqi, Mahmooduzzafar. 2012. Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. Environmental Reviews. 17–39.
- [Kementan] Kementerian Pertanian. 2017. Basis Data Ekspor-Impor Komoditi Pertanian [internet]. Jakarta (ID): Kementerian Pertanian. Tersedia dari <http://aplikasi.pertanian.go.id/eksim/index1.asp>. [Diunduh 2017 September 18].
- Khan, M.M., R. Din, M. Qasim, S. Jehan, M.M. Iqbal. 2003. Induced mutability studies for yield and yield related characters in three wheat (*Triticum Aestivum* L.) Varieties. Asian Journal of Lant Science. 2(17-24):1183–87.
- Kurowska, M., A. Labocha-Pawłowska, D. Gnizda, M. Maluszynski, I. 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 (1):738-739. Elsevier B.V.: 52–70.
- Minisi, A. Fardous, M.E. El-mahrouk, M. El-din F Rida, M.N. Nasr. 2013. Effects of gamma radiation on germination, growth characteristics and morphological variations of *Moluccella Laevis* L. 13(5):696–704.
- Nunoo, J., E.K. Quartey, H.M. Amoatey, and G.Y.P. Klu. (2014). "Effect of Recurrent Irradiation on the Improvement of a Variant Line of Wild Tomato (*Solanum Pimpinellifolium*). Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 7(4):377–383.
- Ousmane, S.D., W. Elegba, K. Danso. 2013. Radio-sensibility of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) and cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) seeds germination and seedling growth. Int. J. Innov. Appl. Stud. 4(4):665-671.
- Parry, M.A.J., P.J. Madgwick, C. Bayon, K. Tearall, A. Hernandez-Lopez, M. Baudo, M. Rakszegi. 2009. Mutation discovery for crop improvement. Journal of Experimental Botany. 60(10):2817–2825.
- Setyowati, M., I. Hanarida. 2009. Pengelompokan plasma nutfah gandum (*Triticum Aestivum*) berdasarkan karakter kuantitatif tanaman. Buletin Plasma Nutfah. 15(1): 32–37.

- Singh, B., P.S. Datta. 2010. Effect of low dose gamma irradiation on plant and grain nutrition of wheat. *Radiation Physics and Chemistry*. 79(8):819–825.
- Suryani, I., F.C.A. Burhendi, W.M. Indriatama. 2017. Pengaruh iradiasi sinar gamma pada pertumbuhan awal tanaman gandum. *Dalam* Hidayat M.N. (*Editor*). *Prosiding Seminar nasional Edufi 2017*. Jakarta, 4 Maret 2017. Program Studi Pendidikan Fisika UHAMKA.