

# Kisaran Dosis Optimal Iradiasi Sinar Gamma dalam Pemuliaan Sorgum Sebagai Pangan Potensial

Dwi Astuti\*, Carla Frieda Pantouw, Bernadetta Rina Hastilestari

Pusat Riset Rekayasa Genetika, Badan Riset dan Inovasi Nasional Research Center for Genetic Engineering, National Research and Innovation Agency, telp/fax -  
e-mail: [\\*iasty0102@gmail.com](mailto:*iasty0102@gmail.com)

## Abstrak

*Sorghum (Sorghum bicolor) merupakan tanaman serealia yang saat ini secara global menempati urutan kelima sebagai tanaman pertanian yang penting. Presiden Republik Indonesia, Bapak Joko Widodo menyatakan bahwa Beliau ingin sorgum menjadi komoditas alternatif pangan. Sorgum berpotensi sebagai bahan pangan karena banyak hal salah satunya bebas gluten dengan angka glikemik indeks yang rendah. Pengembangan sorgum sebagai bahan pangan terus dilakukan dan salah satunya melalui pemuliaan tanaman sorgum dengan pendekatan mutasi radiasi. Mutasi radiasi dilakukan untuk meningkatkan keragaman pada karakter agronomi tanaman sorgum. Keberhasilan mutasi iradiasi sinar gamma sangat ditentukan oleh sensitivitas genotipe tanaman (radiosensitivitas). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan rentang dosis optimal yang dapat menginduksi variasi genetik untuk genotipe Jagung Rote yang memiliki potensi dikembangkan sebagai bahan pangan. Benih sorgum Jagung Rote diiradiasi sinar Gamma dengan rentang dosis 0 -1000 gray increment 100 Gy. Tanaman M1 ditumbuhkan dan diamati di Rumah Kaca Pusris Rekayasa Genetika, BRIN, Cibinong. Pengamatan dilakukan terhadap persentase daya kecambah dan tinggi tanaman pada 2 MST. Rentang dosis optimum dihitung menggunakan perangkat lunak Curve-Fit Analysis. Rentang dosis optimum yang didapatkan dari penelitian ini pada sorgum genotipe Jagung Rote adalah 200 – 400 Gy.*

**Kata kunci:** Dosis Iradiasi; Keragaman Genetik; Pangan Potensial; Radiosensitivitas.

## Abstract

*Sorghum (Sorghum bicolor) is the cereal crop that is currently the fifth most globally important crop. The President of the Republic of Indonesia, Mr. Joko Widodo stated that he wanted sorghum to become an alternative food commodity. Sorghum potent as food because sorghum is gluten-free with a low glycemic index. The sorghum development as foodstuff carries out and one of them is through the breeding of sorghum plants with mutation radiation approach. Mutation radiation were carried out to increase the agronomic characters diversity of sorghum plants. The gamma mutation irradiation is largely determined by the sensitivity of the plant genotype (radiosensitivity). Aim of this research was to determine the optimal dose range that can induce genetic variation for the Jagung Rote genotype which has the potential to be developed as a food stuff. Sorghum seeds of Jagung Rote was irradiated by Gamma rays with a dose range of 0 -1000 Gray (Gy) increments of 100 Gy. M1 plants were grown and observed in the Research Center for Genetic Engineering, National Research and Innovation Agency (BRIN), Cibinong. We observed the percentage of germination and plant height at 2 WAP. The optimum dose range was calculated using the Curve-Fit Analysis software. The optimum dose range on the sorghum Jagung Rote genotype was 200 – 400 Gy.*

**Keywords :** Irradiation Doses; Genetic Variability; Potential Food; Radiosensitivity.

## 1. PENDAHULUAN

Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) adalah tanaman serealia yang penting kelima di Dunia sebagai tanaman pangan baik dari segi total produksi

maupun luas area tanam (Gladman *et al.*, 2019). Biruma *et al.* (2012) menyatakan bahwa tanaman ini memiliki toleransi terhadap kekeringan dan Kong *et al.* (2018) menyatakan bahwa dengan toleransi ini maka sorgum berpotensi untuk ditanam

*Inovasi IPTEKS untuk Meningkatkan Peran Serta Masyarakat Menuju Indonesia Mandiri.*

di lahan marjinal. Sorgum dengan daya adaptasinya yang luas dan dapat ditanam di lahan kering maka sorgum berpotensi untuk dikembangkan dan dibudidayakan di Indonesia (Santosa dan Human, 2009). Soenartiningasih *et al.* (2013) menyatakan bahwa sorgum dapat dikembangkan di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan pangan, pakan dan juga industri. Sorgum memiliki banyak manfaat antara lain sebagai bahan pangan, bahan untuk pakan ternak, sumber energi dan bahan baku industri (Subagio dan Agil, 2013).

Presiden Republik Indonesia, Bapak Joko Widodo dalam kunjungannya ke Sumba Timur Juni 2022 yang lalu, menyatakan bahwa Beliau ingin sorgum menjadi komoditas alternatif pangan (CNN, 2022). Diversifikasi pangan dengan sorgum memiliki potensi yang besar dan layak dikembangkan (Kompas, 2022). Sorgum berpotensi sebagai bahan pangan karena banyak hal salah satunya bebas gluten dengan angka glikemik indeks yang rendah. Sorgum dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan karena biji sorgum memiliki kandungan nutrisi yang cukup tinggi bahkan memiliki kadar protein yang melebihi kandungan protein pada beras yang mencapai 11% dibanding beras yang hanya 6.8%. Potensi sorgum sebagai pakan ternak menurut Subagio dan Agil (2013) adalah penggunaan batang dan daun tanaman sorgum sebagai pakan hewan ruminansia dan biji sorgum dapat dijadikan substitusi jagung sebagai pakan unggas. Penggunaan biji sorgum juga berpotensi sebagai bahan baku industri bir, pati, gula cair serta etanol.

Pengembangan sorgum sebagai bahan pangan terus dilakukan dan salah satunya melalui pemuliaan tanaman sorgum untuk menghasilkan varietas unggul tanaman sorgum baru yang berdaya hasil tinggi dan karakter unggul lain sebagai bahan pangan. Peningkatan potensi daya hasil maupun karakter unggul lain dapat dilakukan dengan cukup tersedianya sumber keragaman genetik.

Peningkatan keragaman genetik tanaman dapat dilakukan melalui berbagai cara seperti persilangan, transformasi gen, variasi somaklonal dan mutasi. Pemuliaan tanaman dengan mutasi induksi merupakan cara yang efektif untuk meningkatkan keragaman genetik sehingga dapat memperkaya plasma nutfah yang ada dan juga dapat memperbaiki sifat pada varietas (Mugiono *et al.*, 2009). Induksi mutasi dapat dilakukan dengan menggunakan agen mutasi (mutagen) kimia dan mutagen fisik menggunakan salah satunya radiasi sinar gamma yang dikenal dengan mutasi radiasi sinar gamma.

Tanaman memiliki respon yang berbeda terhadap iradiasi sinar gamma. Dosis yang tinggi

dapat menyebabkan kematian, sedangkan dosis yang rendah dapat menyebabkan perubahan fenotipe yang bersifat dapat balik. Menurut Soeranto, mutan hasil iradiasi sinar gamma akan menghasilkan keragaman tertinggi di sekitar LD<sub>20</sub> dan LD<sub>50</sub> (Soeranto, 2012).

Keberhasilan iradiasi dalam meningkatkan keragaman dalam populasi ditentukan oleh radiosensitivitas genotipe tanaman yang diiradiasi. Radiosensitivitas iradiasi sinar gamma terhadap tanaman dapat diketahui dari respon fisiologis bahan tanaman yang diiradiasi. Respon fisiologis bahan tanaman inilah yang diukur agar bisa ditentukan dosis yang sesuai untuk mutasi iradiasi. Radiosensitivitas penting dilakukan karena nilai radiosensitivitas bergantung pada jenis tanaman, spesies dan kultivar, kondisi fisiologis dan organ tanaman yang dipakai dalam pemuliaan. (Maharani *et al.*, 2015).

Radiosensitivitas dapat diukur berdasarkan tingkat dosis yang menyebabkan kematian 50% dari populasi tanaman yang diiradiasi atau nilai LD<sub>50</sub> (*lethal dose 50*). Radiosensitivitas juga dapat diamati dari adanya hambatan pertumbuhan atau kematian tanaman, mutasi somatik, patahan kromosom, serta jumlah dan ukuran kromosom (Herison *et al.*, 2008). Nilai letal dosis juga dapat ditentukan melalui pengukuran perkecambahan biji, panjang tunas dan panjang akar fase bibit serta kemampuan berkecambah di kondisi lapang pada generasi M1 (Talebi *et al.*, 2012).

Sorgum varietas Jagung Rote memiliki ukuran biji yang relatif lebih besar dibanding sorgum lain. Tekstur sorgum Jagung Rote menyerupai jagung dan warna biji yang putih sehingga sorgum varietas ini berpotensi sebagai bahan pangan. Potensi sorgum Jagung Rote ini perlu dikembangkan dan diperlukan peningkatan keragaman genetik yang mengarah pada karakter peningkatan daya hasil sorgum Jagung Rote atau peningkatan karakter unggul lainnya seperti tekstur yang lebih lunak dan tahan terhadap penyakit. Penelitian ini bertujuan untuk untuk menentukan rentang dosis optimal yang dapat menginduksi keragaman genetik tanaman sorgum varietas Jagung Rote.

## **2. METODE**

### **Bahan dan Alat**

Materi genetik yang digunakan adalah biji sorgum varietas Jagung Rote koleksi benih perbanyak Pusat Riset Rekayasa Genetika, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Cibinong. Media tanam berupa pasir dan kompos dengan perbandingan 1 : 1. Alat yang digunakan antara lain radiator sinar Gamma *Gammacell* 220 milik

Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN-BRIN), bak plastik berukuran 61 x 40 x 8 cm<sup>3</sup> sebagai tempat penanaman, alat ukur dan alat tulis.

### Tahapan Kerja

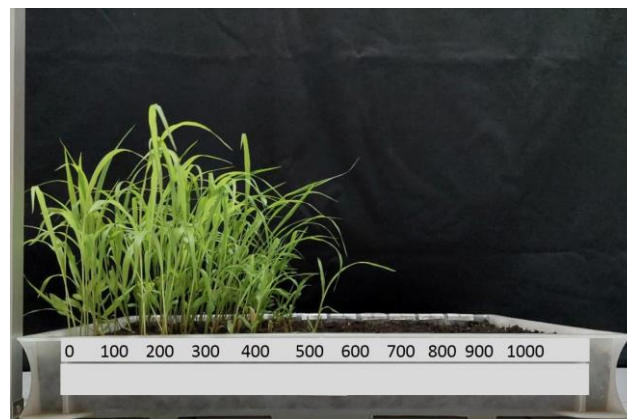
Iradiasi sinar Gamma dilakukan pada benih sorgum varietas Jagung Rote. Benih yang digunakan sebanyak 20 gram untuk masing-masing dosis termasuk kontrol yang tidak diiradiasi. Iradiasi menggunakan 10 dosis yaitu 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 dan 1000 gray. Iradiasi sinar gamma dilakukan di Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, Organisasi Riset Tenaga Nuklir (PRTPR, ORTN-BRIN), Jakarta. Benih M1 selanjutnya ditanam dan ditumbuhkan di Rumah Kaca Pusat Riset Rekayasa Genetika, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Cibinong. Biji sorgum yang tidak diiradiasi digunakan sebagai kontrol. Penelitian ini dilakukan dalam 3 ulangan per dosis perlakuan termasuk kontrol. Tiap-tiap dosis digunakan 50 biji dan ditanam dalam baris. Penyiraman dilakukan setiap hari menggunakan *hand sprayer* untuk menjaga kelembaban. Pengamatan dilakukan terhadap jumlah tanaman yang hidup dan tinggi tanaman pada 2 MST. Hasil pengamatan dihitung dan dinyatakan dalam persen terhadap kontrol. Penentuan letal dosis 20 (LD<sub>20</sub>) dan letal dosis 50 (LD<sub>50</sub>), dilakukan menggunakan perangkat lunak *Curve-Fit Analysis*.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Iradiasi sinar Gamma memberikan pengaruh nyata pada pertumbuhan benih sorgum varietas Jagung Rote. Pengaruh iradiasi terhadap pertumbuhan benih sorgum tersebut di atas pada dua minggu setelah tanam dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil penanaman menunjukkan bahwa mulai dosis 600 Gray sorgum yang diiradiasi sudah tidak menunjukkan perkecambah. Hal berbeda dilaporkan oleh Astuti *et al.* (2019) bahwa penanaman benih sorgum M1 varietas KS yang diiradiasi sampai dengan dosis 1000 Gray masih dapat berkecambah bahkan sampai menghasilkan daun. Begitupun dengan hasil penanaman varietas SMM yang menunjukkan bahwa baru di dosis 800 Gray sudah tidak menunjukkan perkecambah. Perbedaan hasil dari pertumbuhan hasil iradiasi sorgum Jagung Rote dengan KS dan SMM memperlihatkan bahwa varietas yang berbeda dapat memberikan respon fisiologis yang juga berbeda terhadap iradiasi. Hal senada dilaporkan oleh Purba

*et al.* (2013) bahwa varietas berpengaruh nyata terhadap iradiasi.

Perbedaan hasil penanaman benih dari genotipe yang berbeda yang telah diiradiasi dengan sinar Gamma juga pernah dilaporkan oleh Herison dkk., pada tahun 2008. Hasil penelitian tersebut melaporkan bahwa tingkat radiosensitivitas pada 9 galur jagung uji yang diiradiasi sinar Gamma berbeda secara genetik. Sinar gamma mempunyai kemampuan penetrasi yang cukup kuat ke dalam jaringan tanaman. Faktor yang mempengaruhi tingkat radiosensitivitas tanaman terhadap iradiasi antara lain faktor fisik dan faktor biologis. Faktor fisik antara lain morfologi bahan tanaman yang mempengaruhi ketahanan fisik sel dalam menerima iradiasi sinar Gamma. Sorgum Jagung Rote memiliki tekstur yang lebih lunak ketimbang KS dan SMM yang berkulit keras. Sifat fisik inilah yang membuat respon varietas Jagung Rote tidak lagi menunjukkan perkecambah pada dosis yang masih di 600 Gray karena kerusakan jaringan telah banyak terjadi di dosis tersebut. Faktor biologis seperti halnya faktor genetik dan faktor lingkungan seperti oksigen, kadar air, penyimpanan pasca iradiasi dan suhu dapat mempengaruhi radiosensitivitas tanaman terhadap radiasi.



**Gambar 1.** Pengaruh iradiasi sinar Gamma terhadap pertumbuhan benih sorgum Jagung Rote pada dua minggu setelah tanam

Persentase benih tumbuh dan persentase rerata pertumbuhan benih pada benih Jagung Rote hasil iradiasi dapat dilihat pada tabel 1. Pertumbuhan yang dapat dilihat pada Gambar 1. dan data pertumbuhan pada tabel 1 memperlihatkan bahwa semakin tinggi dosis radiasi yang diberikan maka semakin rendah persentase perkecambah. Hal ini terjadi diduga karena dosis radiasi yang diberikan telah mampu merusak sel-sel yang ada pada benih sehingga kemampuan benih untuk berkecambah berkurang.

Hal ini sesuai dengan Purba *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa semakin tinggi dosis, maka semakin banyak terjadi mutasi dan makin banyak pula kerusakan pada jaringan benih tanaman. Hasil juga menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis radiasi yang diberikan maka semakin rendah tinggi tanaman. Hal ini terjadi karena radiasi telah merusak sel-sel tanaman yang menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat sehingga tinggi tanaman menjadi semakin pendek. Hal senada dinyatakan oleh Purba *et al.* (2013) bahwa semakin tinggi dosis radiasi yang diberikan pada tanaman kedelai maka semakin besar tingkat kerusakan dan penghambatan pertumbuhan tanaman itu.

**Tabel 1.** Persentase benih tumbuh dan persentase rerata pertumbuhan benih Jagung Rote hasil iradiasi.

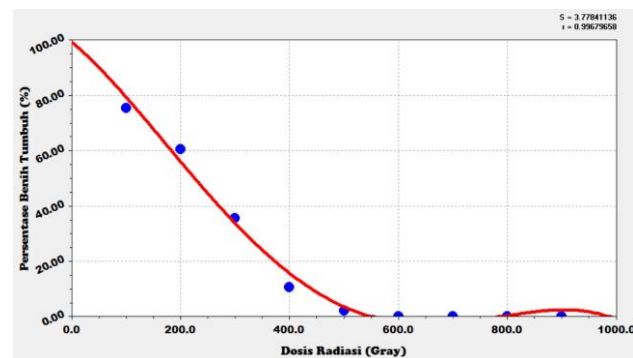
| Dosis (Gy) | $\bar{N}BT$ | % BT | $\bar{N}TT$ (cm) | % TT |
|------------|-------------|------|------------------|------|
| 0          | 50.0        | 100  | 29.08            | 100  |
| 100        | 37.9        | 75.5 | 27.9             | 95.9 |
| 200        | 30.1        | 60.6 | 24.5             | 18.2 |
| 300        | 17.8        | 35.6 | 19.9             | 68.6 |
| 400        | 5.3         | 10.6 | 12.1             | 41.6 |
| 500        | 1.1         | 2.3  | 10.6             | 36.6 |
| 600        | 0.0         | 0.0  | 0.0              | 0.0  |
| 700        | 0.0         | 0.0  | 0.0              | 0.0  |
| 800        | 0.0         | 0.0  | 0.0              | 0.0  |
| 900        | 0.0         | 0.0  | 0.0              | 0.0  |
| 1000       | 0.0         | 0.0  | 0.0              | 0.0  |

Keterangan:  $\bar{N}BT$ . Rerata jumlah benih tumbuh  
 %BT. Persentase benih tumbuh  
 $\bar{N}TT$ . Rerata tinggi tanaman  
 %TT. Persentase tinggi tanaman

Hasil analisis menggunakan perangkat lunak *Curved-fit analysis* untuk menentukan letal dosis 20 ( $LD_{20}$ ) dan 50 ( $LD_{50}$ ) benih Jagung Rote, diperoleh persamaan model terbaik berdasarkan persentase benih hidup dan dosis iradiasi yaitu persamaan polinomial orde empat. Persamaan analisis yang didapatkan adalah  $Y = 99.1876 - 0.0163 X + 0.000459 X^2 - 0.000000109 X^3$  (Gambar 2) didapatkan bahwa  $LD_{20}$  dan  $LD_{50}$  adalah sebesar 283.32 Gy dan 341.52 Gy.

Analisis  $LD_{20}$  dan  $LD_{50}$  berdasarkan persentase benih yang tumbuh pada kedua genotipe memberikan nilai yang relatif kecil dengan rentang dosis yang sempit. Hasil analisis ini adalah hasil analisis yang mengikuti kaidah sebenarnya dalam pengukuran radiosensitivitas tanaman. Nilai  $LD_{20}$  dan  $LD_{50}$  yang terlalu besar dengan rentang dosis yang cukup lebar pada iradiasi tanaman sorgum manis pernah

dilaporkan oleh Surya dan Soeranto (2006). Astuti *et al.* (2019) pun melaporkan hal yang sama bahwa didapatkan nilai yang relatif besar dengan rentang dosis yang lebar pada penentuan radiosensitivitas menggunakan persentase benih hidup. Surya dan Soeranto menentukan dosis optimum untuk meningkatkan keragaman genetik pada beberapa galur sorgum manis tidak berdasar  $LD_{20}$  dan  $LD_{50}$  tetapi dengan menggunakan pendekatan lain yaitu nilai Efektifitas Dosis ( $ED_{50}$ ) yang didasarkan pada persentase keserempakan tumbuh benih dan beberapa parameter tumbuh lain seperti tinggi tanaman dan diameter batang tanaman. Parameter-parameter di atas juga dapat digunakan untuk menentukan radiosensitivitas seperti juga yang dilakukan pada penelitian ini yaitu menggunakan juga parameter tinggi tanaman.



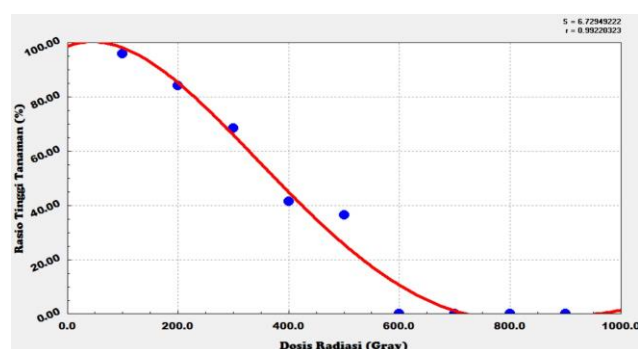
**Gambar 2.** Grafik pengaruh iradiasi sinar Gamma terhadap persentase benih hidup sorgum varietas Jagung Rote

Penentuan dosis optimum untuk meningkatkan keragaman genetik pada tanaman hasil iradiasi dengan tidak hanya menggunakan letal dosis ( $LD$ ) dilaporkan pula oleh Talebi dan Talebi (2012). Talebi dan Talebi menggunakan parameter persentase tinggi tanaman dan panjang akar untuk menentukan rentang dosis  $LD_{25}$  dan  $LD_{50}$  dengan perhitungan reduksi pertumbuhan untuk menentukan dosis optimum yang dapat meningkatkan keragaman genetik. Talebi dan Talebi dalam pembahasannya mengutarakan bahwa persentase jumlah benih yang tumbuh ada kalanya tidak mewakili dalam perhitungan dosis optimum. Iradiasi sinar Gamma dalam dosis tinggi pada beberapa jenis dan varietas tanaman masih dapat membuat tanaman tersebut tumbuh. Tanaman yang tumbuh tersebut masuk dalam perhitungan sehingga tidak dapat mewakili perhitungan letal dosis.

Peningkatan dosis radiasi sinar Gamma akan meningkatkan sensitivitas tanaman. Efek ini menyebabkan pengurangan jumlah hormon

pertumbuhan *endogenous* tanaman tersebut sehingga terjadi penurunan pertumbuhan tanaman. Hal ini yang mendasari penentuan dosis optimum dapat menggunakan reduksi pertumbuhan, yang dalam penelitian ini menggunakan reduksi tinggi tanaman dari tanaman yang tumbuh. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Talebi dkk, bahwa iradiasi dosis tinggi berpengaruh pada penghambatan pertumbuhan tanaman (Talebi *et al.*, 2012). Dilaporkan pula dalam penelitiannya bahwa penentuan dosis optimum dapat menggunakan rentang LD<sub>25</sub>-LD<sub>50</sub> dengan parameter tinggi tanaman.

Nilai LD<sub>50</sub> dengan parameter tinggi tanaman memiliki arti bahwa kita dapat menghitung besarnya dosis sinar Gamma yang dapat mereduksi sebesar 50% tinggi tanaman dibandingkan tinggi tanaman yang tidak diiradiasi (Ambavane *et al.* 2015). Hasil analisis untuk menentukan dosis optimum menggunakan rentang nilai letal dosis 25 (LD<sub>25</sub>) dan 50 (LD<sub>50</sub>) dengan parameter persentase tinggi tanaman sorgum Jagung Rote, diperoleh persamaan model terbaik yaitu persamaan polinomial orde empat. Persamaan analisis yang didapatkan adalah  $Y = 98.7329 + 0.0779 X - 0.000959 X^2 + 0.000000126 X^3$  (Gambar 3). Perhitungan LD<sub>25</sub> dan LD<sub>50</sub> dengan persamaan di atas adalah sebesar 389.83 Gy dan 561.64 Gy. Analisis yang sama untuk genotipe SMM dengan persamaan  $Y = 97.667 + 0.1354 X - 0.000659 X^2 + 0.000000427 X^3$  (Gambar 5) didapatkan nilai LD<sub>25</sub> dan LD<sub>50</sub> sebesar 255.41 Gy dan 375.23 Gy.



**Gambar 3.** Grafik pengaruh iradiasi sinar Gamma terhadap persentase tinggi tanaman sorgum varietas Jagung Rote

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa reduksi pertumbuhan atau reduksi tinggi tanaman juga dapat dijadikan parameter untuk perhitungan letal dosis menentukan dosis optimum tanaman hasil radiasi. Hanafiah dkk, dalam penelitiannya menyatakan bahwa dari banyak studi tentang mutasi yang memanfaatkan iradiasi sinar Gamma, secara umum

mutasi yang mengakibatkan keragaman genetik tinggi adalah pada selang nilai letal dosis LD<sub>50</sub> dan dibawah LD<sub>50</sub> (Hanafiah *et al.* 2010). Nilai dosis optimum yang didapatkan baik dengan menggunakan parameter persentase perkecambahan maupun reduksi tinggi tanaman memberikan nilai yang hampir sama dengan nilai yang relatif kecil dan rentang yang sempit. Nilai dosis optimum yang didapatkan akan digunakan sebagai acuan untuk mendapatkan keragaman genetik di tanaman M2. Dosis optimum sinar Gamma dalam meningkatkan genetik sorgum varietas Jagung Rote berkisar pada 200-400 Gy.

#### 4. SIMPULAN

Dosis optimum yang dapat meningkatkan keragaman genetik benih tanaman sorgum dapat ditentukan dengan nilai letal dosis. Nilai letal dosis dapat dihitung dengan menggunakan parameter jumlah benih yang tumbuh dan tinggi tanaman dari benih M1. Rentang dosis optimum yang didapatkan untuk sorgum Varietas Jagung Rote adalah 200 – 400 Gray.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Ambavane, A. R., Sawardekar, S.V., Sawantdesai, S.A., & Gokhale, N.B. (2015). Studies on mutagenic effectiveness and efficiency of Gamma rays and its effect on quantitative traits in finger millet (*Eleusine corocana* L. Gaertn). *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8, 120-125.
- Astuti, D., Sulistyowati, Y., & Nugroho, S. (2019). Uji radiosensitivitas sinar gamma untuk menginduksi keragaman genetik sorgum berkadar lignin tinggi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 15(1), 1-6.
- Biruma, M., Martin, T., Fridborg, Ikori, P., & Dixelius, C. (2012). Two loci in sorghum with NB-LRR encoding genes confer resistance to *Colletotrichum sublineolum*. *Theoretical and Applied Genetics*, 124(6), 1005– 1015.
- [CNN Indonesia]. (2022). Sorgum, komoditas pengganti gandum yang diidamkan Jokowi. [diunduh 13 September 2022] <https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20220602163911-532-804042/sorgum-komoditas-pengganti-gandum-yang-diidamkan-jokowi>
- Gladman, N., Jiao, Y., Lee, Y.K., Zhang, L., Chopra, R., Regulski, M., Burow, G., Hayes, C., Christensen, S., Dampanaboina, L., Chen, J.,



- Burke, J., Ware, D. & Xin, Z. (2019). Fertility of pedicellate spikelets in sorghum is controlled by a jasmonic acid regulatory module. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(4951), 1-15.
- Hanafiah, D.S., Trikoesoemaningtyas, Yahya, S., & Wirnas, D. (2010) Agronomic improvement of Agromulyo soybean variety (*Glycine max* L. Merr) through induced mutation by Gamma irradiation in M1 and M2 generation. *Biosfera*, 27(3),103-111
- Herison, C., Rustikawati, S. H., Sutjahjo, & Aisyah, S. I. (2008). Induksi mutasi melalui iradiasi sinar Gamma terhadap benih untuk meningkatkan keragaman populasi dasar jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Akta Agrosia*, 11(1), 57-62.
- [Kompas TV]. (2022). Ada ancaman krisis pangan, Jokowi ingin sorgum jadi alternatif tidak hanya bergantung pada beras. [diunduh 13 September 2022].<https://www.kompas.tv/article/294980/ada-ancaman-krisis-pangan-jokowi-ingin-sorgum-jadi-alternatif-tidak-hanya-tergantung-pada-beras>.
- Kong, W., Kim, C., Zhang, D., Guo, H., Tan, X., Jin, H., Zhou, C., Shuang, L.S., Goff, V., Sezen, U., & Pierce, G. (2018). Genotyping by sequencing of 393 *Sorghum bicolor* BTX623 x IS3620C recombinant inbred lines improves sensitivity and resolution of QTL detection. *Genes, Genomes, Genetics*, 8(8), 2563-2572.
- Maharani, S., Khumaida, N., Syukur, M., & Ardie, S.W. (2015). Radiosensitivity and variability of gamma irradiated cassava (*Manihot esculenta* C.). *J. Agron. Indonesia*, 43(2), 111-117.
- Mugiono, Harsanti, L., & Dewi, A.K. (2009). Perbaikan padi varietas Cisantana dengan mutasi induksi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 5(2), 1-7.
- Purba, K.R., Bayu, E.S., & Nuriadi, I. (2013). Induksi mutasi radiasi sinar gamma pada beberapa varietas kedelai hitam. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 1(2), 154-165.
- Santosa, D.D.S., & Human, S. (2009). Modified starch of sorghum mutant line Zh-30 for high fiber muffin products. *Atom Indonesia*, 35(1), 1-9.
- Soenartiningih, Fatmawati, Adnan, A.M. (2013). Identifikasi beberapa penyakit utama pada tanaman sorgum dan jagung di Sulawesi Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Serealia;*
- (2013 Juni 18). Maros, Indonesia. (ID): Kementan, 420-431
- Soeranto, H. (2012). Pemanfaatan teknologi nuklir untuk pemuliaan sorgum. *Makalah Workshop on the Current Status and Challenges in Sorghum Development in Indonesia*, SEAMEO BIOTROP.
- Subagio, H., & Agil, M. (2013). Pengembangan produksi sorgum di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian*. (2013 Maret 26-27). Banjarbaru, Indonesia. (ID):Deptan.
- Surya, M. I., & Soeranto, H. (2006). Pengaruh iradiasi sinar Gamma terhadap pertumbuhan sorgum manis (*Sorghum bicolor* L.). *Risalah Seminar Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*.
- Talebi, A. B., & Talebi, A. B. (2012). Radiosensitivity study for identifying the lethal dose in MR219 (*Oryza sativa* L. Spp. *Indica* cv. MR219. *International Journal of Agricultural Sciences, Research and Technology*, 2(2), 63-67.
- Talebi, A. B., Talebi, A.B., & Shahrokhifar, B. (2012). Ethyl Methane Sulphonate (EMS) induced mutagenesis in Malaysian rice (cv. MR2190 for lethal dose determination. *American Journal of Plant Sciences*, 3, 1661-1665.