

**PERBAIKAN KULTIVAR PADI BERAS HITAM
LOKAL SUMATERA BARAT DENGAN MUTASI INDUKSI**

ARTIKEL

BENNY WARMAN R

1031201018



PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS ANDALAS

2016

Perbaikan Kultivar Padi Beras Hitam Lokal Sumatera Barat Dengan Mutasi Induksi

*Benny Warman¹⁾, Sobrizal²⁾ Irfan Suliansyah³⁾,
Etti Swasti³⁾ dan Auzar Syarif³⁾*

¹⁾ Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh

²⁾ PATIR-BATAN

³⁾ Fakultas Pertanian Universitas Andalas

E-mail : warman.benny@yahoo.co.id

ABSTRAK

PERBAIKAN KULTIVAR PADI BERAS HITAM LOKAL SUMATERA BARAT DENGAN MUTASI INDUKSI. Kultivar padi beras hitam merupakan padi lokal yang berasal dari Pasaman Timur yang memiliki umur panjang dan tinggi tanamannya terlalu tinggi, dapat diperbaiki sifat genetiknya melalui metode pemuliaan tanaman, salah satunya adalah melalui pemuliaan mutasi. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki genetik padi beras hitam lokal Sumatera Barat untuk mendapatkan sifat yang lebih unggul (lebih genjah) melalui pemuliaan mutasi. Penelitian ini dilaksanakan sejak Maret 2012 sampai Maret 2013. Benih padi beras hitam diiradiasi dengan sinar gamma ⁶⁰Co dengan dosis 0, 100, 200, 300, 400 dan 500 Gy di Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi-Batan, Jakarta. Pada tahun 2012 dilakukan skrining orientasi dosis pada tahap M₁ untuk mendapatkan perlakuan dosis yang efektif dalam menghasilkan keragaman genetik yang sangat berharga dalam upaya seleksi. Pada tahun 2013 dilakukan seleksi pada populasi M₂ untuk mendapatkan sifat tanaman yang berumur lebih genjah (mutan genjah). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan dosis iradiasi 200 Gy merupakan dosis yang efektif dalam menghasilkan keragaman genetik. Pada dosis tersebut telah terbentuk keragaman genetik yang luas untuk variabel karakter umur dan tinggi tanaman. Dengan luasnya keragaman genetik tersebut dihasilkan kandidat-kandidat mutan yang dapat diseleksi pada tahap M₂. Dari hasil seleksi yang dilakukan pada tahap M₂ diperoleh kandidat mutan genjah sebanyak 81 kandidat dengan frekuensi mutasi sebesar 0.08 %, serta mutan pendek (dwarf) dan semi-pendek (semi-dwarf) sebanyak 32 mutan dengan frekuensi mutan sebesar 0,03 %. Kandidat-kandidat mutan tersebut merupakan kandidat mutan harapan yang memiliki karakter lebih baik sebagai hasil untuk dikembangkan di masa yang akan datang.

Kata kunci : Padi beras hitam lokal Sumatera Barat, mutasi induksi, sifat genjah

ABSTRACT

THE IMPROVEMENT OF WEST SUMETERA BARAT BLACK RICE CULTIVARS THROUGH INDUCED MUTATION. Black rice is a local rice originating from East Pasaman which has too high of longevity and plant height, can also be improved through the genetic nature of plant breeding methods, one of which is through mutation breeding. The aim of this research is to improve the genetic West Sumatera landrace to get the early maturity mutant by mutation breeding. This research was conducted since maret 2012 until Maret 2014. Seeds of black rice cultivars was irradiated by gamma rays (^{60}Co) at doses of 0, 100, 200, 300, 400 and 500 Gy respectively at the Center for Application of Isotop and Radiation (CAIR) – Batan, Pasar Jumat, Jakarta. In 2012, was conducted orientation dose screening to M_1 population for determine of effective dose for genetic variability. It is very important to selection. In 2013, was selection for lines M_2 for early maturity genetic. The result of this research showed that irradiation dose 200 Gy is the effective dose in causing highly genetic variability for harvest time and plant hight characters. In selection to early maturity genetic in M_2 obtained 81 candidates with mutation frequency as 0.08 %, and than dwarf and semi-dwarf obtained 32 mutants with mutation frequency as 0,03 %. They are the expectation mutant for future development.

Keyword : West Sumatera black rice, Induced Mutations, early maturity.

PENDAHULUAN

Salah satu komoditas tanaman pangan yang saat ini memiliki nilai ekonomis yang cukup strategis adalah padi beras hitam. Padi beras hitam diyakini memiliki manfaat yang jauh lebih baik bila dibandingkan dengan beras merah apalagi dengan beras putih. Hal ini dikarenakan kandungan antosianin, serat dan zat besi yang cukup tinggi sehingga lebih efektif untuk stabilitas kesehatan dan sebagai sumber makanan yang memiliki nilai kandungan

gizi yang lebih baik untuk dikonsumsi [1]

Padi beras hitam tersebut merupakan padi lokal yang memiliki karakter yang sama dengan padi lokal yang lainnya seperti memiliki umur produksi yang masih panjang (> 145 hari) dan memiliki postur yang lebih tinggi (> 150 cm). Tentu, apabila sifat-sifat yang kurang efektif tersebut dapat diperbaiki jelas akan lebih menguntungkan khususnya dapat lebih mendukung peningkatan produktifitas dan kesejahteraan petani. Salah satu

cara yang dapat dilakukan dalam pengembangan varietas unggul tersebut adalah dengan melakukan mutasi induksi dengan iradiasi sinar gamma. Pemuliaan mutasi dapat mendukung dihasilkannya variabilitas genetik yang besar dari tanaman yang memiliki variabilitas genetik yang sempit [2], [3], [4]. Di samping itu, melalui pemuliaan mutasi juga dapat dihasilkan variabilitas genetik yang besar dalam waktu yang lebih singkat bila dibandingkan dengan metode hibridisasi.

Mutasi induksi merupakan salah satu cara untuk merubah genetik yang dilakukan oleh manusia dalam rangka mendapatkan sifat yang lebih baik dari sifat tanaman aslinya [4], [5], [6]. Mutasi induksi telah memberikan kontribusi yang nyata pada perbaikan genetik tanaman di berbagai belahan dunia. Bahkan, pada beberapa hal telah memberikan dampak terhadap peningkatan produksi seperti halnya padi [7], lebih baik untuk perbaikan beberapa sifat saja dengan tidak merubah sebagian besar sifat tanaman aslinya yang sudah disukai dan relatif memerlukan waktu lebih singkat dalam proses pemurnian galur [3], [8], [9]. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan mutan genjah

sebagai hasil perbaikan genetik padi lokal Sumatera Barat melalui pemuliaan mutasi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di fasilitas *greenhouse* dan sawah percobaan Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh sejak Maret 2012 sampai Maret 2013. Bahan tanaman yang digunakan adalah kultivar padi beras hitam yang merupakan salah satu kultivar padi lokal Sumatera Barat. Benih diiradiasi dengan sinar γ dengan dosis 0 Gy (kontrol), 100 Gy, 200 Gy, 300 Gy, 400 Gy dan 500 Gy sebanyak 200 gram setiap dosisnya sebagai benih M_1 . Iradiasi benih dilakukan di PATIR-BATAN, Pasar Jumat Jakarta dengan sumber radiasi sinar γ (gamma) digunakan Co^{60} dari *Gammacell Chamber*. Setelah diiradiasi, masing-masing dosis iradiasi sebanyak 200 benih disemaikan dalam *seedbed* selama tiga minggu untuk mengamati pengaruh iradiasi terhadap pola pertumbuhan benih dan mengetahui nilai LD_{50} . Di samping itu juga dilakukan pengamatan mutasi klorofil menurut metode Gustafsson [10], untuk mengetahui frekwensi mutan dan frekwensi mutasi.

Perlakuan dosis yang terbaik kemudian ditanam untuk mendapatkan sumber bahan tanam dan pembentukan galur tanaman pada tahap M₂. Selanjutnya masing-masing galur ditanam sebanyak 100 tanaman dengan satu batang per lubang tanamnya. Tanaman ditanam di sawah serta dipelihara seperti budidaya padi biasanya. Pada fase pertumbuhan generatif dilakukan pengamatan terhadap keragaman genetik, heritabilitas dan seleksi mutan target (mutan berumur genjah). Penentuan nilai variabilitas genetik dilakukan menurut metode Khan [11], dimana suatu karakter memiliki variabilitas genetik yang luas apabila nilai varians genetik (σ^2g) lebih besar dua kali standar deviasi genetiknya atau dinyatakan dengan rumus $\sigma^2g > 2(\sigma\sigma^2g)$, sebaliknya variabilitas genetik sempit apabila $\sigma^2g < 2(\sigma\sigma^2g)$. Penentuan nilai heritabilitas dilakukan dengan

menggunakan analisis komponen varians dan dihitung berdasarkan rumus yang dikemukakan [11] dimana nilai duga heritabilitas tinggi bila ($H > 50\%$), sedang ($20\% \leq H \leq 50\%$), dan rendah ($H < 20\%$).

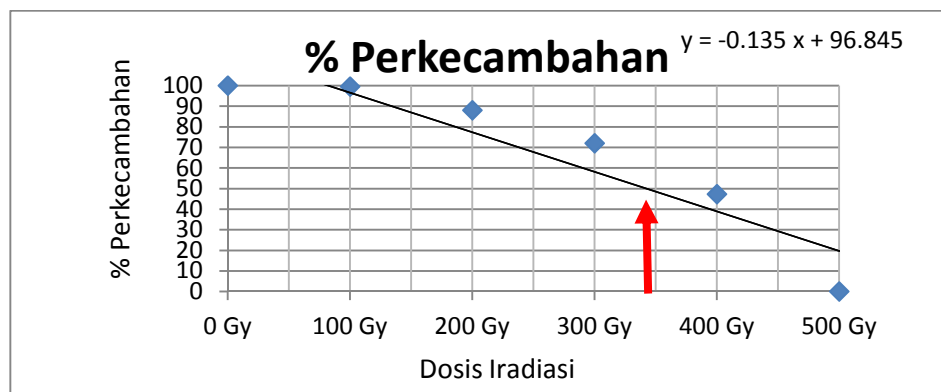
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian tahap M₁ menunjukkan bahwa Efek dari iradiasi secara fisik dapat dilihat dari persentase perkecambahan, reduksi laju pertumbuhan serta besarnya persentase kehampaan biji. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa iradiasi dengan sinar gamma dari kisaran dosis 0, 100, 200, 300, 400 dan 500 Gy mempengaruhi persentase perkecambahan dan reduksi laju pertumbuhan bibit seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persentase daya kecambah, tinggi bibit dan panjang akar tiga minggu setelah tanam.

Dosis (Gy)	Daya Kecambah (%)	Tinggi Bibit (cm)	Panjang akar (cm)
0 Kontrol)	100.00	24,95±1.12	7.87±0.31
100	99.62	23.20±1.36	6.90±0.29
200	88.00	21.87±1.59	6.67±0.31
300	72.45	13.89±0.69	5.32±0.16
400	47.33	10.07±0.60	4.45±0.86
500	-	-	-

Dari pengamatan persentase perkecambahan benih seiring dengan perkecambahan benih yang telah diiradiasi dengan sinar gamma pada (Tabel 1) menunjukkan bahwa kisaran dosis iradiasi 100 Gy sampai 500 Gy telah memberikan respon pola perkecambahan benih yang berbeda. Pola perkecambahan benih yang telah diiradiasi dengan dosis yang berbeda menunjukkan penurunan persentase



Gambar 1. Kurva Respon Perkecambahan Benih Padi Beras Hitam Lokal Sumatera Barat.

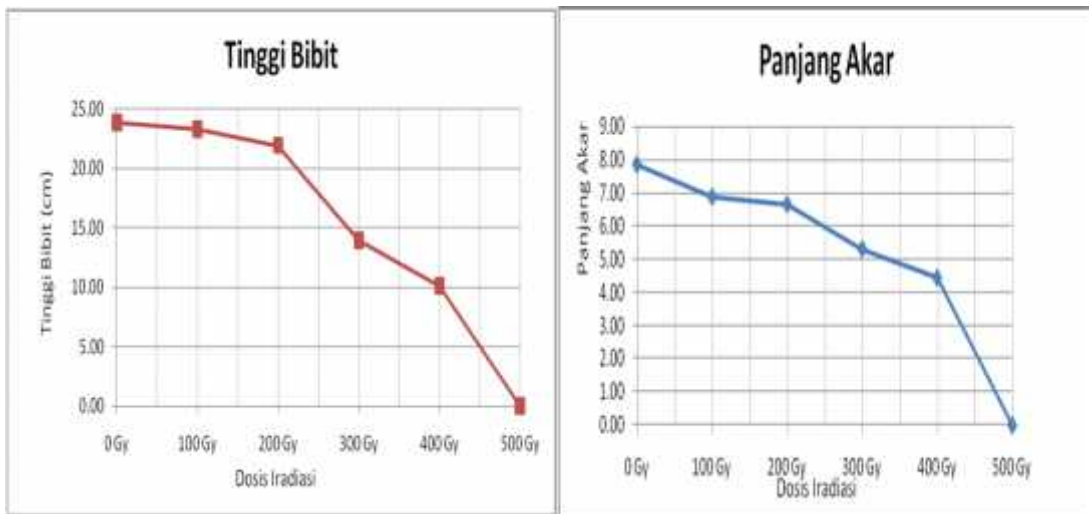
Pada Gambar 1 di atas dapat dilihat bahwa semakin tinggi dosis iradiasi, dapat menurunkan perkecambahan benih padi beras hitam. Bahkan pada dosis 500 Gy, benih tidak dapat berkecambah lagi. Menurunnya daya kecambah benih tersebut disebabkan karena adanya efek deterministik akibat iradiasi sinar gamma. Efek deterministik adalah efek yang disebabkan karena kematian sel akibat paparan radiasi [12]. Efek deterministik timbul bila dosis yang diterima oleh tanaman di atas dosis ambang (*threshold dose*) dan umumnya timbul beberapa saat setelah iradiasi. Tingkat keparahan efek deterministik akan meningkat bila dosis yang diterima lebih besar dari dosis ambang. Hal ini sejalan dengan pendapat Ismachin, M. (13), yang menjelaskan bahwa tingkat kematian meningkat secara linier seiring dengan meningkatnya dosis pada tanaman kacang hijau, demikian pula hasil penelitian [14] pada tanaman bunga

matahari. Dari pengamatan persentase perkecambahan tersebut diperoleh persamaan matematis dimana $y = -0.135x + 96.845$, sehingga nilai LD_{50} diperoleh pada dosis iradiasi 347 Gy. Tinggi-rendahnya kadar oksigen dan molekul air (H_2O) dalam materi yang diiradiasi, akan mempengaruhi proses ionisasi radikal bebas yang terbentuk sehingga mempengaruhi radiosensivitas sel tanaman [15]. Selain itu, aktifitas mematikan dari radiasi pengion terhadap sel mengakibatkan hilangnya aktifitas mitosis, sehingga mengakibatkan hilangnya sejumlah materi genetik [16]. Hal ini menyebabkan rendahnya laju perkecambahan dan pertumbuhan bibit dan bahkan dapat menyebabkan kematian pada material tanaman (lethal) seperti yang terlihat pada Gambar 1.

Pada tinggi bibit dan panjang akar juga terlihat bahwa semakin tinggi dosis iradiasi juga mempengaruhi respon pertumbuhannya. Respon pertumbuhan tinggi bibit dan panjang akar semakin menurun akibat semakin besarnya dosis iradiasi. Pada dosis 500 Gy benih tidak tumbuh sama sekali. Hal ini sejalan dengan pendapat [17], [18], yang menjelaskan bahwa perlakuan mutagen tertentu pada *serealea* memiliki korelasi dengan tinggi kecambah M_1 , daya kecambah M_1 dan frekuensi mutasi. Respon pertumbuhan tinggi bibit dan panjang akar terhadap perlakuan dosis iradiasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.



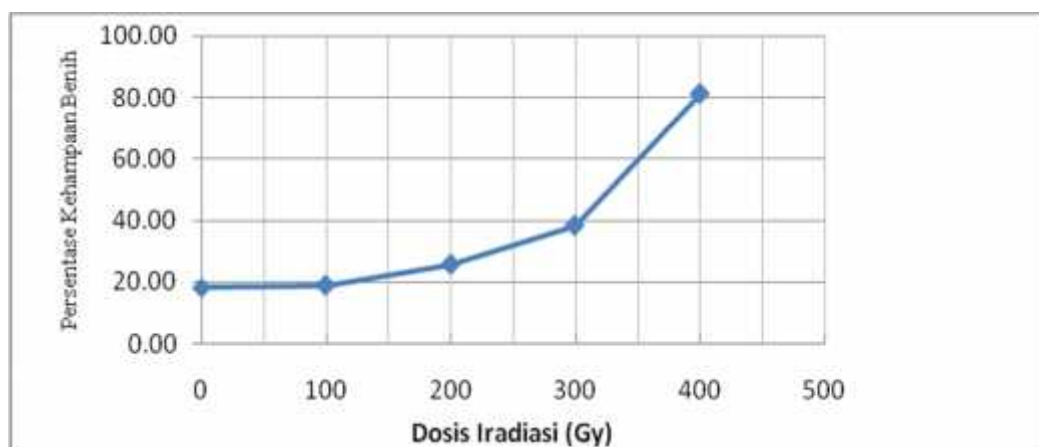
Gambar 2. Visual pertumbuhan bibit pada berbagai tarap dosis iradiasi Padi beras hitam lokal Sumatera Barat.



Gambar 3. Kurva Respon Pola Pertumbuhan (tinggi) Bibit Kultivar Padi Beras Hitam Lokal Sumatera Barat (a), Kurva Respon Pola Pertumbuhan (panjang) Akar Bibit Padi Beras Hitam Lokal Sumatera Barat (b).

Pada generasi M_1 ketika ditanam di lapangan menunjukkan pola pertumbuhan tanaman normal dan tidak ditemukan perbedaan yang mencolok antara dosis iradiasi yang satu dengan yang lainnya, bahkan dengan tanaman kontrolnya (tanpa diiradiasi).

Di samping itu iradiasi berpengaruh terhadap peningkatan persentase kehampaan biji pada malai. Persentase kehampaan biji ini akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan dosis iradiasi (Gambar 4).



Gambar 4. Kurva Respon Pola Sterilitas Benih Kultivar Padi beras Hitam Lokal Sumatera Barat.

Satu hal yang sangat diharapkan dalam mutasi induksi adalah kerusakan fisiologis yang sekecil-kecilnya dan kerusakan genetik yang sebesar-besarnya. Hal tersebut merupakan faktor yang sangat berharga dalam menghasilkan variabilitas genetik yang tinggi. Dalam penelitian ini diperoleh nilai LD₅₀ terdapat dalam kisaran dosis 200-300 Gy, namun dalam kisaran dosis tersebut masih menyebabkan tingkat sterilitas malai masih tinggi (Gambar 4). Dosis radiasi yang tinggi akan meningkatkan sterilitas pada malai tanaman M₁ [19]. Dari Gambar 4. juga dapat dilihat bahwa untuk dosis 200-300

Gy tingkat sterilitas malai berkisar antara 20-40%, sedangkan dosis 0-100 Gy persentase sterilitas malai hampir tidak jauh berbeda.

Pada tahap M₂ ini kegiatan seleksi terhadap mutan target (mutan genjah) dilakukan. Seleksi tersebut dapat dilakukan apabila dalam populasi galur mutan terdapat keragaman genetik yang mendukung untuk dilakukannya seleksi terhadap karakter mutan target [20]. Rangkuman data parameter genetik yang diamati melalui variable tinggi tanaman, umur tanaman, jumlah anakan produktif dan panjang malai dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rangkuman parameter genetik dari 1000 galur generasi tanaman M₂

Karakter	Rataan $\pm$ sd	σ^2p	σ^2e	σ^2q	h^2	Kategori	2sd	Variabilitas
Tinggi Tanaman (cm)	145.17* $\pm$ 4.72	20.42	148.56	12.41	0.58	Tinggi	9.45	Luas
Umur Tanaman (hari)	144.47* $\pm$ 2.42	6.48	145.98	5.45	0.74	Tinggi	4.84	Luas
JumlahAnakan Produktif (btg)	8.01* $\pm$ 3.01	8.57	6.78	6.08	0.65	Tinggi	6.02	Luas
Panjang Malai (cm)	32.16 ^{ns} $\pm$ 2.27	4.75	32.33	1.64	0.26	Sedang	4.53	Sempit

Keterangan : *) berbeda nyata pada taraf 0,05 menurut uji T; ^{ns}) tidak berbeda nyata.

Pada Tabel 2. terlihat bahwa secara umum terlihat bahwa nilai duga heritabilitas pada keseluruhan karakter termasuk kategori tinggi. Hanya pada

karakter panjang malai, nilai duga heritabilitasnya tergolong sedang, namun dapat digolongkan hampir mendekati tinggi. Tingginya nilai duga heritabilitas

ini berarti faktor genetik memberikan kontribusi penting dalam proses berikutnya. Nilai heritabilitas menunjukkan bagaimana proporsi suatu gen dapat diturunkan pada generasi berikutnya berdasarkan observasi sifat fenotipe yang diamati [21], [22], serta merupakan parameter genetik menentukan sistem seleksi efektif [23], [22].

Di samping itu, nilai variabilitas pada karakter tinggi tanaman, jumlah anakan dan umur tanaman tergolong luas sedangkan untuk karakter panjang malai tergolong sempit. Hal ini berarti bahwa mutasi induksi yang dilakukan lebih efektif dalam menghasilkan keragaman genetik yang tinggi pada karakter tinggi tanaman, jumlah anakan produktif dan umur tanaman. Namun untuk panjang malai tidak memiliki pengaruh yang besar dalam menghasilkan keragaman genetik. Luasnya variabilitas genetik pada karakter tinggi tanaman, jumlah

anakan produktif dan umur panen tersebut merupakan dasar untuk melakukan seleksi terhadap karakter mutan target (unggul) yang diinginkan [20], [1], seperti mutan genjah dan *semi-dwarf*. Pada pengamatan nilai tengah variabel, diketahui bahwa nilai variabel karakter postur tanaman mutan lebih rendah bila dibanding dengan postur tanaman asalnya. Sedangkan untuk nilai tengah ketiga variabel yang lainnya tidak berbeda nyata dengan nilai tengah tengah tanaman asalnya. Menurut [22], nilai tengah masing-masing genotipe sangat berkaitan dengan idiotipe tanaman yang ingin dicapai dan diinginkan seperti karakter *semi-dwarf* dan umur genjah.

Pada fase generatif populasi M₂ dilakukan seleksi individu terhadap mutan genjah. Hasil seleksi individu terhadap mutan genjah tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Mutan genjah pada populasi M₂ yang berasal dari kultivar padi beras hitam lokal Sumatera Barat

Galur	Umur Berbunga (Hari)			Jumlah Mutan	Jumlah Populasi M ₂	Frek. Mutan Genjah (%)
	80-90	91-100	>100			
Mutan Padi Beras Hitam	13	68	-	81	100000	0.08
Kult. Padi beras hitam (Kontrol)	-	-	TF 50	-	6000	-

Keterangan : TF50 (*Time Flowering* tanaman kontrol 50%)

Pada Tabel 3 terlihat bahwa hasil seleksi individu terhadap kelompok kandidat mutan tergenjah (umur berbunga 80-90 hari) yaitu sebanyak 13 tanaman, dan kelompok kandidat mutan genjah (umur berbunga 91- 100 hari) yaitu sebanyak 68 tanaman, dengan frekuensi mutan sebesar 0,08 %. Sedangkan untuk tanaman asalnya (kontrol) umur berbunga terdapat pada kelompok >100 hari. Mutan genjah pada populasi M₂ dapat dilihat pada Gambar 5.



Populasi tanaman M₂



Mutan umur genjah

Gambar 5. Mutan semi pendek (semi - dwarf) dan mutan umur genjah pada populasi tanaman M₂ hasil seleksi perbaikan genetik melalui mutasi induksi.

Pada dosis iradiasi sinar gamma dengan dosis 200 Gy dapat memunculkan sifat mutan sebagai hasil dari perubahan genetik akibat mutasi pada gen yang mengendalikan umur tanaman. Dari pengamatan yang dilakukan cepatnya umur panen tersebut dapat ditandai dengan lebih cepatnya umur tanaman mutan berbunga bila dibanding dengan tanaman asalnya (tanaman kontrol). Menurut Sobrizal [5], umur berbunga yang lebih cepat sangat berkorelasi dengan umur panen tanaman yang lebih cepat. Cepatnya tanaman berbunga akibat terjadinya perubahan genetik sebagai akibat dari mutasi induksi yang dilakukan. Perlakuan dosis iradiasi 200 Gy merupakan dosis yang efektif untuk menghasilkan mutan-mutan yang strategis yang diinginkan mutan genjah [17], mutan gabah yang tidak berbulu pada varietas Cisantana [24], dan Mutan genjah pada padi Kuriak Kusuik dan Randah Putih Tinggi [5], mutan genjah dan semi-dwarf pada padi Ase Lapang dan Mandoti [25].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa mutasi induksi yang dilakukan dengan iradiasi sinar gamma dapat menghasilkan keragaman genetik yang sangat bermanfaat dalam usaha seleksi untuk memperoleh karakter umur tanaman yang lebih genjah (mutan genjah).

Dari orientasi dosis diperoleh nilai LD₅₀ sebesar 397 Gy, namun dalam menentukan dosis efektif iradiasi diharapkan dosis yang menyebabkan kerusakan fisik yang sedikit serta kerusakan genetik yang besar. Pada dosis iradiasi 200 Gy dihasilkan kerusakan fisik yang sedikit seperti persentase perkecambahan, tinggi bibit, panjang perakaran serta persentase kehampaan malai bila dibanding dengan dosis iradiasi yang lebih tinggi. Pada dosis tersebut juga telah membentuk keragaman genetik yang luas untuk variable karakter tinggi tanaman, jumlah anakan produktif dan umur tanaman. Dengan luasnya keragaman genetik tersebut dihasilkan kandidat-kandidat mutan yang dapat diseleksi pada tahap M₂.

Dari hasil seleksi yang dilakukan pada tahap M₂ diperoleh kandidat mutan genjah sebanyak 82 kandidat dengan frekuensi mutasi sebesar 0,08 %. Kandidat-kandidat mutan tersebut merupakan kandidat mutan harapan yang memiliki karakter lebih baik sebagai hasil untuk dikembangkan di masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

1. Persatuan Ahli Gizi Indonesia. Komposisi gizi berbagai beras 2009.
<http://www.smallcrab.com/makanan-dan-gizi/647-berbagai-khasiat-beras-hitam>.
2. Mikaelsen, k. Modifying effects of water content, oxygen and cystein on genetics effects of gamma and fast neutron radiation in barley seeds. In Gamma Field Symposia: 7:1-16 (1980)
3. Micke, A., B. Donini, M. Maluszinski. Induced mutation for crop improvement. Mutation Breeding Review Vol. 7. No. 1 (1990).
4. Harten, A.M.van. Mutation breeding; Theory and practical application. Cambridge University Press (1998).
5. Sobrizal. Seleksi mutan genjah pada populasi M₂ tanaman padi varietas Kuriak Kusuik dan Randah Tinggi Putih. Jurnal Agrotropika Vol.1 No (2007).
6. Ismachin, M. Perkembangan pemuliaan mutasi di Indonesia. Diklat Pemuliaan Mutasi. FPAI BATAN. Jakarta (2007).
7. Maluszinsky, M., B.S. Ahloowalia, B. Sigurbjornsson. Application of in vivo and in vitro mutation techniques for crop improvement. Euphytica Vol. 85 (303) (1995).
8. Amano, E. Practical suggestion for mutation breeding. Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA) Mutation Breeding Project (2004).
9. Ismachin, M. dan Sobrizal. A significant contribution of mutation techniques to rice breeding in Indonesia. Plant Mutation Report Vol. 1, No. 18 (2006)
10. Gustafsson, Å. The mutation system of the chlorophyll apparatus. *Lunds Univ. Årsskr. N. F. Avd. 2. Bd. 36*. Pp. 1–40 (1940).
11. Khan, A.S., M. Imran, M. Ashfaq. Estimation of genetic variability and correlation for grain yield component in rice (*Oryza* PPIN BATAN. Radiasi. http://www.batan.go.id/FAQ/faq_radiasi.php. [Download tanggal 25 Maret 2011]. (2008)
12. PPIN BATAN. 2008. Radiasi. http://www.batan.go.id/FAQ/faq_radiasi.php. (2008)
13. Ismachin, M. 2007. Perkembangan pemuliaan mutasi di Indonesia. Diklat Pemuliaan Mutasi. FPAI BATAN. Jakarta.

14. Kumar PRR, Ratnam SV. Mutagenic effectiveness and efficiency in varieties of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by separate and combined treatment with gamma -rays and sodium azide . Afr. J. Biotechnol. 9(39): 6517 – 6521 (2010) [Download tanggal 25 Maret 2011].
15. Herison, C., Rustikawati, Sujono H. S., Syarifah I. A. Induksi mutasi melalui sinar gamma terhadap benih untuk meningkatkan keragaman populasi dasar jagung (*Zea mays* L.). Akta Agrosia 11(1):57-62. (2008).
16. Ahnstrom, G. Radiobiology. In Manual on Mutation Breeding. 2nd Ed. IAEA, Vienna. 21-27 (1977).
17. Konzak, C.F., R.A. Nilan., J. Wagner., and R.J. Foster.. Efficient chemical mutagenesis Report of FAO/IAEA Technical Meeting. Rome, May 25 – June 1st 1964. 49-70 (1965)
18. Conger, B.V., Konzak, C.F. and R.A. Nilan. Radiation sensitivity and modifying factors. In Manual on AMutation Breeding, 2nd Ed. IAEA, Vienna. 40-42. (1977)
19. Gaul, H. Mutagen effects in the first generation after seed treatment. In Manual on Mutation Breeding. 2nd Ed. IAEA, Vienna. 40-42 (1977).
20. Harten, A.M.van. Mutation breeding; Theory and practical application. Cambridge University Press (1998).
21. Sabu, K.K., M.Z. Abdullah, L.S. Lim, R. Wickneswari. Analysis of heritability and genetic variability of agronomically important traits in *Oryza sativa* L. x *O. rufipogon* Cross. Agronomy Res. 7:97-102. (2009)
22. Syukur, M., S. Sujiprihati., R. Yunianti., dan D.A. Kusumah. Estimation of genetic variance and heritability for yield component characters in chili pepper genotypes. J. Agrivigor10(2): 148-156.(2009)
23. Susanto, G.W.A. dan M.M. Adie. Pendugaan heritabilitas hasil dan komponen hasil galur-galur kedelai ditiga lingkungan. Prosiding Simposium PERIPI 5-7 Agustus 2004., Hal: 119-125. (2010)
24. Mugiono, L. Harsanti, dan A.K. Dewi. Perbaikan padi varietas Cisantana dengan mutasi induksi. Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi Vol. 5 (2.) (2009)
25. Haris, A., Abdullah, Bakhtiar, Subaedah, Aminah and K. Jusoff. Gamma (2013)ray radiation mutant rice on local dwarf. Middle-East Journal of Scientific Research 15 (8)