

Seleksi Dan Evaluasi Sorgum Mutan Generasi M2 Hasil Radiasi Sinar Gamma Untuk Peningkatan Karakter Biomassa

Selection And Evaluation Of Mutant Sorghum M2 Generation From Gamma Irradiation For Increasing Biomass Character

Yuli Sulistyowati^{1*}, Ade Nena Nurhasanah¹, Dwi Widyajayantie¹, Dwi Astuti¹, Agus Rachmat¹, Carla Frieda Pantouw¹, Vincentia Esti Windiastri¹, Syamsidah Rahmawati¹, Satya Nugroho¹

¹Pusat Riset Rekayasa Genetika, BRIN

*E-mail : ysulistyowati21@gmail.com

ABSTRACT

Sorghum (Sorghum bicolor L.) is a cereal plant that can adapt to dry area so it has the potential to be developed in Indonesia. Sorghum has many benefits, namely as food, feed and industry. One of the ingredients in sorghum that can be used for industrial materials is lignin which can be used in the manufacture of particleboard and briquettes. In previous studies, selection of lignin content was carried out on 30 genotypes of sorghum and obtained the genotype with the highest lignin content, namely KS (Konawe Selatan). However, the KS genotype has low biomass, so improvements need to be made to increase biomass. Mutation is one way to increase genetic diversity. This study aimed to obtain a sorghum mutant line that had characteristics related to biomass such as plant height, stem diameter, and stem weight that were better than the parent. The research was carried out in July – November 2019 at the Citayam Experimental Field. The genetic material used was the M2 mutant lines of 300, 400, and 500 Gy gamma irradiation and 0 Gy control plants. A total of 50 panicles per gray were planted one row per panicle and the agronomic characters were observed. The agronomy observed on the M2 mutant line showed that the 300 Gy mutant line population had a wider range of values than the 400 and 500 Gy populations and control. The 300 Gy mutant population also had a higher mean value than the 400 and 500 Gy mutant populations as well as the control on plant height 309.18 cm (control 305.33 cm), stem diameter 24.09 mm (control 19.37 mm), stem weight 860.73 g (control). 507.10 g), panicle length 42.55 cm (control 39.95 cm) and panicle weight 95.52 g (control 64.50 g). Mutations with gamma-ray radiation can increase genetic diversity and selection in the M2 mutant lines obtained lines that have plant height, stem diameter, and stem weight are better than the control, which shows an increase in biomass.

Keywords: biomass; genetic diversity; gamma radiation; selection

Disubmit : 28 November 2021, **Diterima:** 18 Juni 2022 , **Disetujui :** 8 Agustus 2022;

PENDAHULUAN

Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) merupakan tanaman serealia yang adaptif terhadap daerah panas dan kering, sehingga mempunyai potensi untuk dikembangkan di Indonesia. Selain sebagai bahan



Lisensi

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi-BerbagiSerupa 4.0 Internasional.

pangan dan pakan, sorgum juga digunakan sebagai bahan baku untuk produksi pati, serat, dekstrosa sirup, biofuel, alkohol, dan produk lainnya (Sinha & Kumaravadivel, 2016).

Sorgum bukan tanaman asli Indonesia, sehingga keragaman genetik yang ada masih sangat terbatas (Puspitasari et al., 2013). Keragaman genetik dapat ditingkatkan dengan mencari sumber-sumber genetik baru melalui pemuliaan tanaman. Metode yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keragaman genetik antara lain dengan introduksi, persilangan, transformasi genetik dan mutasi.

Induksi mutasi dilakukan dengan menggunakan mutagen kimia atau fisik. Salah satu mutagen fisik adalah iradiasi sinar gamma. Iradiasi sinar gamma telah digunakan untuk meningkatkan keragaman genetik tanaman antara lain pada kedelai (Moussa, 2011), gandum (Albokari, 2014), tomat (Nunoo et al., 2014), cabe (Gaswanto et al., 2016), padi (Mustikarini et al., 2017), sorgum (Human et al., 2020), dan kedelai hitam (Andini et al., 2021). Di Indonesia sorgum hasil mutasi yang telah dilepas sebagai varietas nasional antara lain Pahat, Samurai 1, Samurai 2, dan Bioguma.

Biomassa dari batang sorgum dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan briket, biopellet dan papan partikel (Jamaluddin et al., 2018; Prasetyo et al., 2019; Wiloso et al., 2020). Lignin merupakan bagian dari dinding sel tanaman. Lignin mempunyai manfaat antara lain sebagai bahan perekat dan dapat dikembangkan menjadi produk bioenergi bernilai tinggi (Rahayu et al., 2020; Susilowati et al., 2013). Selain itu potensi kandungan lignoselulosa sorgum dapat digunakan sebagai sumber karbon dan penginduksi mikroorganisme untuk menghasilkan berbagai produk seperti enzim-enzim yang terkait dengan biorefinery (Andriani et al., 2020). Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan analisis kandungan lignin terhadap 30 aksesori sorgum, dan diperoleh aksesori KS (Konawe Selatan) memiliki lignin tertinggi di antara 30 aksesori ((Wahyuni et al., 2019). Namun biomassa dari aksesori KS masih rendah, sehingga untuk meningkatkan biomassa dari aksesori KS dilakukan induksi mutasi (Astuti et al., 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keragaman pada populasi sorgum mutan generasi M2 dan mendapatkan tanaman mutan sorgum yang memiliki karakter biomassa lebih tinggi dari kontrol.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Kebun Percobaan Citayam, dari bulan Juli 2019 – November 2019. Bahan tanaman yang digunakan adalah benih mutan generasi M2 dari galur mutan M1 yang berasal dari radiasi sinar gamma 300, 400 dan 500 Gy. Radiasi benih KS dilakukan di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR)-BATAN. Masing-masing dosis ditanam 50 galur. Setiap malai dari masing-masing galur ditanam 20 tanaman dalam baris. Benih ditanam dengan jarak tanam 70 x 20 cm, dengan cara ditugal. Parameter yang diamati adalah tinggi tanaman (cm), diameter batang (mm), panjang malai (cm), bobot malai (g), bobot batang (g) dan bobot total biomassa (g).

Analisis data dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata dan uji t terhadap nilai rata-rata, ragam fenotipe (σ^2_p), ragam lingkungan (σ^2_e), dan ragam genetik (σ^2_g). Selanjutnya dihitung nilai heritabilitas arti luas (h^2_{bs}) dari nilai ragam yang diperoleh untuk melihat pengaruh genetik pada karakter yang diamati dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} \text{Ragam fenotipe } (\sigma^2_p) &= \sigma^2_{M_2} \\ \text{Ragam lingkungan } (\sigma^2_e) &= \sigma^2_{\text{kontrol}} \\ \text{Ragam genetik } (\sigma^2_g) &= \sigma^2_p - \sigma^2_e \\ \text{Heritabilitas arti luas } (h^2_{bs}) &= \frac{\sigma^2_g}{\sigma^2_p} \\ \text{Standar deviasi ragam genetik } (\sigma_{\sigma^2_g}) &= \sqrt{\sigma^2_g} \end{aligned}$$

Heritabilitas arti luas dikelompokkan menjadi tiga yaitu tinggi jika $h^2 > 0.5$, sedang jika $0.2 \leq h^2 \leq 0.5$; dan rendah jika $h^2 < 0.2$. Nilai keragaman genetik suatu karakter ditentukan berdasarkan ragam genetik dan

standar deviasi ragam genetik. $\sigma_g^2 > 2\sigma_e^2$: keragaman genetik luas, sedangkan $\sigma_g^2 < 2\sigma_e^2$: keragaman genetik sempit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keragaan Populasi. Induksi mutasi dapat menyebabkan terjadinya perubahan pada karakter poligenik yang dapat tergambarkan dari pendugaan nilai rata-rata, kisaran, koefisien keragaman dan heritabilitas pada populasi M2 (Begum & Dasgupta, 2014). Nilai rata-rata dan komponen genetik lainnya diduga melalui pengamatan karakter agronomi sorgum pada masing-masing populasi M2. Keragaan populasi mutan sorgum generasi M2 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai rata-rata dan kisaran karakter agronomi tanaman sorgum generasi M2.

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)		Diameter batang (mm)	
	X ± Sd	Kisaran	X ± Sd	Kisaran
0 Gy	307.85 ± 23.78	258 - 360	19.71 ± 2.87	14.9 - 25.7
300 Gy	309.18 ± 39.70	186 - 393	24.09** ± 5.23	13.3 - 41.5
400 (Gy)	293.44** ± 30.94	213 - 363	21.63** ± 4.80	10.5 - 38.2
500 (Gy)	284.62** ± 32.40	140 - 371	21.13** ± 4.69	10.1 - 35.1

Perlakuan	Panjang malai (cm)		Bobot malai (g)	
	X ± Sd	Kisaran	X ± Sd	Kisaran
0 Gy	39.95 ± 3.00	34 - 45	64.50 ± 24.53	26 - 128
300 Gy	42.55** ± 4.32	27 - 51	95.12** ± 43.58	20 - 238
400 (Gy)	39.35 ± 3.77	24 - 52	72.47 ± 30.50	10 - 180
500 (Gy)	39.14 ± 4.53	23 - 55	73.46* ± 33.51	10 - 226

Perlakuan	Bobot batang (g)		Bobot total biomassa (g)	
	X ± Sd	Kisaran	X ± Sd	Kisaran
0 Gy	507.10 ± 142.28	240 - 886	680.75 ± 195.73	308 - 1180
300 Gy	860.73** ± 349.83	185 - 2120	1105.23** ± 421.37	255 - 2575
400 (Gy)	594.24** ± 216.23	120 - 1374	788.67** ± 276.59	184 - 1776
500 (Gy)	559.72* ± 230.95	114 - 1564	735.58 ± 294.02	148 - 1958

Keterangan: X: rata-rata ; Sd : standar deviasi, *: berbeda nyata dengan populasi kontrol pada taraf 5% berdasarkan uji t; **: berbeda nyata dengan populasi kontrol pada taraf 1% berdasarkan uji t.

Nilai rata-rata panjang malai meningkat pada populasi mutan dengan dosis 300 Gy, sedangkan pada dosis 400 Gy dan 500 Gy tidak berbeda nyata dengan kontrol. Pada bobot malai, peningkatan nilai rata-rata terdapat pada perlakuan dosis 300 Gy dan 500 Gy.

Bobot batang dan bobot total biomassa pada perlakuan 300 Gy dan 400 Gy terjadi peningkatan nilai rata-rata yang berbeda sangat nyata dengan kontrol, sedangkan pada perlakuan 500 Gy rata-rata bobot batang berbeda nyata dengan kontrol dan tidak berbeda nyata pada karakter bobot total biomassa. Secara umum terlihat bahwa nilai rata-rata tertinggi dari setiap karakter diperoleh dari iradiasi 300 Gy.

Kisaran suatu karakter menunjukkan nilai sebaran dari fenotipe yang muncul. Pada penelitian ini perlakuan induksi sinar gamma telah meningkatkan rentang kisaran pada semua karakter yang diamati pada populasi sorgum M2. Mutasi bersifat acak dan dapat menyebabkan perubahan karakter ke arah positif ataupun negatif. Hal tersebut menyebabkan peningkatan variasi nilai komponen hasil setiap individu dalam populasi dan memperluas rentang kisaran (Indriatama et al., 2016).

Nilai kisaran yang lebar menunjukkan adanya nilai yang lebih rendah dari kontrol dan nilai yang lebih tinggi dari kontrol. Dengan demikian dapat dilakukan seleksi pada individu yang memiliki karakter target dengan nilai diatas kontrol untuk dilanjutkan pada generasi berikutnya.

Tabel 2. Komponen ragam dan heritabilitas karakter sorgum generasi M2

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)			Diameter batang (mm)		
	300 Gy	400 Gy	500 Gy	300 Gy	400 Gy	500 Gy
σ^2g	1010.27	391.39	483.75	19.13	14.81	13.76
σ^2p	1575.99	957.11	1049.47	27.35	23.03	21.98
$\sigma\sigma^2g$	31.8 (L)	19.8 (L)	22.0 (L)	27.35	3.8 (L)	3.7 (L)
h^2	64.10 (T)	40.89 (Sd)	46.09 (Sd)	69.95 (T)	64.31 (T)	62.60 (T)

Perlakuan	Panjang malai (cm)			Bobot malai (g)		
	300 Gy	400 Gy	500 Gy	300 Gy	400 Gy	500 Gy
σ^2g	9.63	5.23	11.51	1297.75	328.71	521.18
σ^2p	18.65	14.25	20.53	1899.34	930.3	1122.77
$\sigma\sigma^2g$	18.65	2.3 (L)	3.4 (L)	36.0 (L)	18.1 (L)	22.8 (L)
h^2	51.64 (T)	36.70 (Sd)	56.06 (T)	68.33 (T)	35.33 (Sd)	46.42 (Sd)

Perlakuan	Bobot batang (g)			Bobot total biomassa (g)		
	300 Gy	400 Gy	500 Gy	300 Gy	400 Gy	500 Gy
σ^2g	102136	26511.3	33093.1	139243.1	38187.86	48135.26
σ^2p	122380.9	46756.2	53338	177555	76499.8	86447.2
$\sigma\sigma^2g$	319.6 (L)	162.8 (L)	181.9 (L)	373.2 (L)	195.4 (L)	219.4 (L)
h^2	83.46 (T)	56.70 (T)	62.04(T)	78.42 (T)	49.92 (Sd)	55.68 (T)

Keterangan : σ^2p : ragam fenotip, σ^2g : ragam genetik, $\sigma\sigma^2g$: standar deviasi ragam genetik, h^2 : heritabilitas dalam arti luas, T: tinggi, Sd: sedang, R:rendah; L: luas; S: sempit

Parameter Genetik Populasi Mutan M2. Radiasi dapat meningkatkan keragaman dalam populasi M2. Galur mutan yang mempunyai ragam lebih besar dari kontrol menunjukkan adanya segregasi pada galur tersebut. Nilai keragaman dan heritabilitas populasi mutan M2 ditampilkan pada Tabel 2. Peningkatan keragaman terjadi karena adanya segregasi pada populasi M2. Keragaman dapat terjadi karena pengaruh faktor genetik maupun non genetik. Keragaman genetik tertinggi berada pada dosis 300 Gy. Keragaman yang tinggi memberikan peluang untuk dilakukan seleksi terhadap karakter yang diinginkan. Hal ini selaras dengan penelitian (Kham et al., 2015) yang menunjukkan bahwa radiasi sinar gamma menginduksi keragaman genetik yang luas pada perlakuan 300 Gy dan diikuti oleh 400 Gy pada sorgum Shweni-15.

Nilai heritabilitas arti luas adalah rasio antara keragaman genetik dan keragaman total pada pada M2. Nilai heritabilitas tinggi menunjukkan bahwa faktor genetik lebih berperan dalam kemunculan fenotipe M2. Nilai heritabilitas berkisar dari sedang sampai tinggi. Perlakuan iradiasi 300 Gy memiliki nilai heritabilitas tinggi untuk semua karakter yang diamati. Pada perlakuan 400 Gy, heritabilitas tinggi terdapat pada karakter diameter batang dan bobot batang. Sedangkan pada perlakuan 500 Gy heritabilitas tinggi terdapat pada diameter batang, panjang malai, bobot batang dan bobot total. Nilai heritabilitas pada perlakuan 300 Gy lebih tinggi dari perlakuan lain untuk hampir semua karakter kecuali panjang malai. Hal ini berarti radiasi sinar gamma telah meningkatkan keragaman genetik dalam populasi tanaman mutan. Heritabilitas tinggi menunjukkan bahwa pengaruh faktor genetik lebih berperan dalam mengontrol sifat yang muncul daripada faktor lingkungan. Kemajuan genetik dan heritabilitas tinggi juga diperoleh pada penelitian (Shivaprasad et

al., 2019) pada karakter tinggi tanaman, lebar batang, bobot malai, lebar malai, panjang malai, bobot 100 butir dan produksi.

Tabel 2. Komponen ragam dan heritabilitas karakter sorgum generasi M2

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)			Diameter batang (mm)		
	300 Gy	400 Gy	500 Gy	300 Gy	400 Gy	500 Gy
σ^2g	1010.27	391.39	483.75	19.13	14.81	13.76
σ^2p	1575.99	957.11	1049.47	27.35	23.03	21.98
$\sigma\sigma^2g$	31.8 (L)	19.8 (L)	22.0 (L)	27.35	3.8 (L)	3.7 (L)
h^2	64.10 (T)	40.89 (Sd)	46.09 (Sd)	69.95 (T)	64.31 (T)	62.60 (T)

Perlakuan	Panjang malai (cm)			Bobot malai (g)		
	300 Gy	400 Gy	500 Gy	300 Gy	400 Gy	500 Gy
σ^2g	9.63	5.23	11.51	1297.75	328.71	521.18
σ^2p	18.65	14.25	20.53	1899.34	930.3	1122.77
$\sigma\sigma^2g$	18.65	2.3 (L)	3.4 (L)	36.0 (L)	18.1 (L)	22.8 (L)
h^2	51.64 (T)	36.70 (Sd)	56.06 (T)	68.33 (T)	35.33 (Sd)	46.42 (Sd)

Perlakuan	Bobot batang (g)			Bobot total biomassa (g)		
	300 Gy	400 Gy	500 Gy	300 Gy	400 Gy	500 Gy
σ^2g	102136	26511.3	33093.1	139243.1	38187.86	48135.26
σ^2p	122380.9	46756.2	53338	177555	76499.8	86447.2
$\sigma\sigma^2g$	319.6 (L)	162.8 (L)	181.9 (L)	373.2 (L)	195.4 (L)	219.4 (L)
h^2	83.46 (T)	56.70 (T)	62.04(T)	78.42 (T)	49.92 (Sd)	55.68 (T)

Keterangan : σ^2p : ragam fenotip, σ^2g : ragam genetik, $\sigma\sigma^2g$: standar deviasi ragam genetik, h^2 : heritabilitas dalam arti luas, T: tinggi, Sd: sedang, R:rendah; L: luas; S: sempit

Seleksi Galur Mutan M2

Seleksi pada penelitian ini dilakukan dengan tujuan pembentukan galur – galur sorgum yang memiliki biomassa tinggi terutama karakter pada batang. Menurut (Pimentel et al., 2017) pada biomassa sorgum, kandungan lignin tertinggi terdapat pada bagian batang. Tinggi tanaman dan diameter batang merupakan karakter agronomi yang penting yang berhubungan dengan biomassa, sehingga dapat digunakan sebagai kriteria seleksi (Lestari & Dewi, 2015). Oleh karena itu seleksi diarahkan pada tinggi tanaman, diameter batang dan bobot batang. Hasil seleksi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Seleksi galur mutan M2 berdasarkan tinggi tanaman, diameter batang dan bobot batang

Dosis (Gy)	Tinggi > 3 m	Diameter > 27 mm	Bobot batang > 1000 g	Tinggi dan diameter	Tinggi, diameter dan bobot batang
300	126	45	59	33	27
400	167	48	14	24	8
500	128	43	15	15	7
Jumlah	421	136	88	72	42

Berdasarkan karakter tinggi tanaman dan diameter batang diperoleh 72 galur mutan dengan tinggi > 3 m dan diameter > 27 mm. Apabila seleksi berdasarkan tinggi tanaman, diameter batang dan bobot batang diperoleh 42 galur mutan. Menurut (Asadi, 2016) mutasi pada tingkat tertentu dapat menimbulkan ragam

genetik yang berguna dalam pemuliaan tanaman. Pemuliaan melalui mutasi mempunyai peran cukup besar dalam perbaikan tanaman dan telah banyak menghasilkan tanaman unggul (Taryono et al., 2011)

KESIMPULAN

Populasi mutan pada perlakuan dosis 300 Gy memiliki peningkatan nilai rata-rata yang lebih tinggi terhadap kontrol dibanding perlakuan 400 Gy dan 500 Gy. Hasil seleksi pada galur mutan M2 diperoleh 72 galur berdasarkan tinggi tanaman dan bobot batang, dan 42 galur berdasarkan tinggi, diameter dan bobot batang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini. Penelitian ini didanai oleh kegiatan SATREPS (*Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development Program*) “The Project for Producing Biomass Energy and Material Through Revegetation of Alang-alang (*Imperata Cylindrica*) Field” tahun 2016-2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Albokari, M. 2014. Induction of mutants in durum wheat (*Triticum durum* desf cv. samra) using gamma irradiation. *Pakistan Journal of Botany*, 46(1), 317–324.
- Andini, S. N., Kartahadimaja, J., & Ferwita Sari, M. 2021. Seleksi mtan generasi dua (M2) kedelai hitam terhadap produksi tinggi. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 21(1), 32–39. <https://doi.org/10.25181/jppt.v21i1.1950>
- Andriani, A., Maharani, A., Yanto, D. H. Y., Pratiwi, H., Astuti, D., Nuryana, I., Agustriana, E., Anita, S. H., Juanssilfero, A. B., Perwitasari, U., Pantouw, C. F., Nurhasanah, A. N., Windiastri, V. E., Nugroho, S., Widyajayantie, D., Sutiawan, J., Sulistiyowati, Y., Rahmani, N., Ningrum, R. A., & Yopi. 2020. Sequential production of ligninolytic, xylanolytic, and cellulolytic enzymes by *Trametes hirsuta* AA-017 under different biomass of Indonesian sorghum accessions-induced cultures. *Bioresource Technology Reports*, 12(7), 100562. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100562>
- Asadi. 2016. Pemuliaan Mutasi untuk Perbaikan terhadap Umur dan Produktivitas pada Kedelai. *Jurnal AgroBiogen*, 9(3), 135. <https://doi.org/10.21082/jbio.v9n3.2013.p135-142>
- Astuti, D., Sulistiyowati, Y., & Nugroho, S. 2019. Uji radiosensitivitas sinar gamma untuk menginduksi keragaman genetik sorgum berkadar lignin tinggi. *Jurnal Aplikasi Isotop Dan Radiasi*, 15(1), 1–6.
- Begum, T., & Dasgupta, T. 2014. Genetic variability estimates in induced population of sesame (*Sesamum indicum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 84(5), 3–6.
- Gaswanto, R., Syukur, M., Purwoko, B. S., & Hidayat, S. H. 2016. Induced mutation by gamma rays irradiation to increase chilli resistance to begomovirus. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 38(1), 24–32. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v38i1.581>
- Han, B., Gu, J., Zhao, L., Guo, H., Xie, Y., Zhao, S., Song, X., Han, L., & Liu, L. 2016. Factors affecting the radiosensitivity of hexaploid wheat to γ -irradiation: radiosensitivity of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.). *PLOS ONE*, 11(8), e0161700. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161700>
- Htun, K. W., Min, M., & Win, N. C. 2015. Evaluation of genetic variability for agronomic traits in M2 generation of sorghum through induced mutation. *International Journal of Technical Research and Applications*, 3(6), 145–149.
- Human, S., Sihono, & Indriatama, W. M. 2020. Sorghum improvement program by using mutation breeding in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 484(1), 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/484/1/012003>

- Indriatama, W. M., Trikoesoemaningtyas, Aisyah, S. I., & Human, S. 2016. Pendugaan ragam genetik dan heritabilitas karakter agronomi gandum (*Triticum aestivum* L.) hasil berbagai perlakuan teknik iradiasi sinar gamma. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop Dan Radiasi*, 12(2), 79–88.
- Jamaluddin, Indrayani, Y., & Munawar, S. S. 2018. Kualitas papan partikel dari campuran batang sorgum (*Sorghum bicolor* L.) dan kayu akasia (*Acacia mangium* W.) berdasarkan konsentrasi perekat urea formaldehida. *Jurnal Hutan Lestari*, 6(3), 486–498.
- Kham, N. H., Win, N. C., & Minn, M. 2015. Study on the variability of induced mutation for improvement of local cultivar sorghum (Shweni-15). *International Journal of Technical Research and Applications*, 3(6), 139–144.
- Lestari, E., & Dewi, I. 2015. Evaluasi dan seleksi galur mutan sorgum manis varietas numbu hasil mutasi. *Prosiding Seminar Nasional Biologi II, 6 Agustus 2015*, 11–16.
- Moussa, H. 2011. Low dose of gamma irradiation enhanced drought tolerance in soybean. *Acta Agronomica Hungarica*, 59(1), 1–12. <https://doi.org/10.1556/AAgr.59.2011.1.1>
- Mustikarini, E. D., Ardiarini, N. R., Basuki, N., & Kuswanto, K. 2017. Selection strategy of drought tolerance on red rice mutant lines. *Agrivita*, 39(1), 91–99. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v39i1.648>
- Nunoo, J., Quartey, E. K., Amoatey, H. M., & Klu, G. Y. P. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2014.07.007>
- Pimentel, L. D., Batista, V. A. P., Fatima fe Barros, A., Teofilo, R. F., & Dias, L. A. do S. 2017. Chemical and bioenergetic characterization of sorghum agronomic groups. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47(4), 424–431.
- Prasetyo, K. W., Syamani, F. A., Bahtiar, G., & Prabowo, S. 2019. Pemanfaatan bagas sorgum untuk papan partikel dengan perekat isosianat: Pengaruh suhu kempa dan ukuran partikel. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia XX, September*, 189–195.
- Puspitasari, W., Human, S., Wirnas, D., & Trikoesoemaningtyas. 2013. Evaluating genetic variability of sorghum mutant lines tolerant to acid soil. *Atom Indonesia*, 38(2), 83. <https://doi.org/10.17146/ajj.2012.165>
- Rahayu, F., Murianingrum, M., & Nurindah. 2020. Pemanfaatan lignin dari biomassa rami, kenaf, dan agave untuk sumber bioenergi. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 11(2), 73–85. <https://doi.org/10.21082/btsm.v11n2.2019.73>
- Shivaprasad, T., Girish, G., Badigannavar, A., Muniswamy, S., Yogesh, L. N., & Ganapathi, T. R. 2019. Genetic variability, correlation and path coefficient studies in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] mutants. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 10(4), 1383. <https://doi.org/10.5958/0975-928X.2019.00177.7>
- Sinha, S., & Kumaravadivel, N. 2016. Understanding Genetic Diversity of Sorghum Using Quantitative Traits. *Scientifica*, 2016(1), 1–8. <https://doi.org/10.1155/2016/3075023>
- Surya, M. I., & Hoeman, S. 2009. Evaluasi keragaman genetik sorgum manis pada mutan generasi ke-2 hasil iradiasi gamma. *Agrivita*, 31(2), 142–148.
- Susilowati, Munandar, S., & Edahwati, L. 2013. Menjadi perekat utilization of lignin from waste of cocoa peel. *Teknik Kimia*, 8(1), 22–26.

Sulistiyowati, dkk: Seleksi Dan Evaluasi Sorgum Mutan Generasi M2 Hasil Radiasi Sinar Gamma Untuk Peningkatan

Taryono, Cahyaningrum, P., & Human, S. 2011. The detection of mutational changes in sorghum using RAPD. *Indonesian Journal of Biotechnology*, 16(1), 66–70.

Wahyuni, Y., Miyamoto, T., Hartati, H., Widjayantie, D., Windiastri, V. E., Sulistiyowati, Y., Rachmat, A., Hartati, N. S., Ragamustari, S. K., Tobimatsu, Y., Nugroho, S., & Umezawa, T. 2019. Variation in lignocellulose characteristics of 30 Indonesian sorghum (*Sorghum bicolor*) accessions. *Industrial Crops and Products*, 142(10), 111840. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111840>

Wiloso, E. I., Setiawan, A. A. R., Prasetia, H., M., Wiloso, A. R., S., Sudiana, I. M., Lestari, R., Nugroho, S., Hermawan, D., Fang, K., & Heijungs, R. 2020. Production of sorghum pellets for electricity generation in Indonesia: A life cycle assessment. *Biofuel Research Journal*, 7(3), 1178–1194. <https://doi.org/10.18331/BRJ2020.7.3.2>