



Jagur

Jurnal Agroteknologi

eISSN 2828-6022, Doi: <https://doi.org/10.25077/jagur.7.2.121-126.2025>

Penerbit: Universitas Andalas, Website: jagur.faperta.unand.ac.id

Volume 7 Nomor 2, Oktober (2025): 121- 126

Induksi Mutasi dengan Sinar UV-C dan Seleksi *In Vitro* Kalus Kedelai yang Toleran Kekeringan

Mutation Induction Using Ultraviolet C Radiation to Obtain Drought-Tolerant Soybeans In Vitro

Mumthaza Allatifa¹, Gustian¹, Sutoyo¹

¹Departemen Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas

Email Koresponden : mumthazaallatifa1@gmail.com

Article history

Received: Mei 20, 2025 | Accepted: Agustus 08, 2025 | Published: October 05, 2025

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max.* L) is a strategic commodity that plays a major role in providing nutritious food. One effort to increase soybean production is through the use of superior varieties. Dega-1 is a soybean variety that is very sensitive to drought so that it is necessary to develop soybeans cultivated in dry land which can be attempted through mutation breeding. The purpose of this study was to determine the duration of ultraviolet C light irradiation that can produce mutants and to obtain putative drought-tolerant mutants through ultraviolet C light mutation induction and in vitro selection (PEG 25%). This study was conducted from April to July 2024 at the Tissue Culture Laboratory, Faculty of Agriculture, Andalas University. This study was arranged in a Randomized Block Design with treatment duration of UV C light irradiation λ 254 nm with 10 treatment levels including no radiation, 15 minutes, 30 minutes, 45 minutes, 60 minutes, 75 minutes, 90 minutes, 105 minutes, 120 minutes, and 135 minutes. Each treatment consisted of 5 groups. The observation data were analyzed using simple statistical analysis using the mean and standard deviation calculations. The results showed that the highest percentage of putative drought-tolerant soybean mutants (PEG 6000 25%) was produced by 45 minutes of UV C irradiation, namely 3.33%. These mutants emerged from blackish-brown callus and developed into yellow callus and also regenerated into somatic embryos.

Keywords: *in vitro*, soybean, drought, mutation, ultraviolet light C

PENDAHULUAN

Kedelai (*Glycine max.* L) menjadi salah satu komoditas yang memiliki peran dalam menyediakan bahan pangan bergizi karena mengandung protein yang tinggi yaitu sebesar 30-36%. Badan Pangan Nasional, (2022) melaporkan bahwa kebutuhan kedelai di Indonesia pada tahun 2022 mencapai 2,740,292 ton, sedangkan produksi dalam negeri hanya 298,497 ton. Akibatnya impor kedelai masih sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produksi kedelai nasional yaitu melalui perluasan areal tanam. Namun, hal tersebut dibatasi oleh degradasi lahan pertanian subur sehingga perluasan areal tanam harus dialihkan ke lahan marginal seperti lahan kering. Lahan kering di Indonesia sangat luas yaitu sebesar 144,473,211 hektar (Ritung *et al.*, 2015). Akan tetapi, ketersediaan air yang terbatas terutama saat musim kemarau menjadi permasalahan utama yang ditemukan di lahan kering.

Surmaini & Faqih (2016) melaporkan bahwa El Nino dapat menyebabkan produksi kedelai turun hingga 4,85%.

Pengembangan kedelai yang dibudidayakan di lahan kering dapat diupayakan melalui penggunaan varietas unggul. Pujiwati *et al.* (2021) melaporkan bahwa Gepak Kuning merupakan varietas lokal yang toleran kekeringan hingga -0.67 MPa (PEG 20%), tetapi potensi hasilnya rendah (2.86 ton/ha). Selain itu, Dega-1 juga merupakan varietas lokal, memiliki potensi hasil yang tinggi (3.82 ton/ha) dan umur yang genjah, tetapi Dega-1 termasuk varietas yang sensitif terhadap kekeringan. Hal ini menjadi peluang besar bagi *breeder* untuk mengembangkan varietas baru dengan sumber daya genetik yang sudah tersedia. Salah satu teknik pemuliaan tanaman yang dapat digunakan untuk meningkatkan toleransi kedelai terhadap cekaman kekeringan yaitu mutasi.

Mutasi merupakan teknik pemuliaan yang efektif untuk meningkatkan keberagaman genetik dalam upaya



Jagur

Jurnal Agroteknologi

eISSN 2828-6022, Doi: <https://doi.org/10.25077/jagur.7.2.121-126.2025>

Penerbit: Universitas Andalas, Website: jagur.faperta.unand.ac.id

Volume 7 Nomor 2, Oktober (2025): 121- 126

menghasilkan varietas baru. Hal ini karena mutagen sebagai bahan penyebab mutasi dapat mengubah susunan genetik pada tanaman (Budi *et al.*, 2019). Induksi mutasi dapat dilakukan menggunakan mutagen fisik dan kimia. Radiasi adalah mutagen fisik yang memancarkan energi dalam bentuk gelombang, seperti sinar gamma, sinar X, neutron, partikel α , partikel β , dan sinar ultraviolet (UV).

Sinar UV sering dimanfaatkan sebagai mutagen untuk sel-sel tunggal seperti spora, kultur suspensi sel, dan pollen. Berdasarkan panjang gelombangnya, radiasi sinar UV dibagi menjadi UV A (315-400 nm), UV B (280-315 nm), dan UV C (100-280 nm). Radiasi sinar UV C dapat menyebabkan adisi atau delesi rantai nukleotida serta dapat membentuk dimer pirimidin. Namun, penggunaan sinar UV C untuk menginduksi mutasi pada tanaman budidaya masih belum banyak digunakan. Berdasarkan basis data *International Atomic Energy Agency* (2023) dapat dilihat bahwa dari 2,001 varietas mutan unggul yang dikembangkan melalui mutasi, belum terdapat penggunaan sinar UV C sebagai mutagen dalam perakitan varietas unggul tersebut terutama pada tanaman kedelai.

Sulastris *et al.* (2021) menggunakan radiasi sinar UV-C selama 30 dan 60 menit untuk menginduksi mutasi pada kalus alfalfa (*Medicago sativa*) dan meningkatkan ketahanan kalus pada media PEG 30%. Haryanti (2024) juga menggunakan sinar UV C untuk mendapatkan mutan putatif nilam yang memiliki kandungan minyak yang tinggi. Hasilnya menunjukkan bahwa paparan sinar UV C selama 90 menit dapat meningkatkan kandungan minyak pada nilam. Hal ini berarti setiap tanaman memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap radiasi sinar UV C sehingga diperlukan dosis radiasi yang sesuai untuk memicu mutasi pada tanaman tersebut.

Kombinasi kultur *in vitro* dengan induksi mutasi dapat mempercepat program pemuliaan dan keragaman lingkungan dapat diminimalisir (Lestari, 2021). Selain itu, penggunaan eksplan dari kalus juga dapat memperbesar peluang terjadinya mutasi. Hal ini karena kalus bersifat merismatik. Keberhasilan induksi mutasi untuk mendapatkan mutan kedelai yang toleran kekeringan didapatkan setelah dilakukan seleksi *in vitro* menggunakan agen selektif seperti *Polyethylene glycol* (PEG).

PEG dapat menurunkan potensial air pada media sehingga akar tidak dapat menyerap air dari media dan tanaman akan kekurangan air. Potensial air pada kapasitas lapang dilahan produksi sebesar -0.033 MPa yang setara dengan konsentrasi PEG 5%, sedangkan potensial air pada cekaman kekeringan ringan di lahan pertanian berkisar antara -0.1 MPa hingga -1.2 MPa (Pamungkas *et al.*, 2022). Hal ini berarti penambahan

PEG dengan konsentrasi 25% (-0.99 MPa) pada media seleksi *in vitro* diharapkan mampu menyeleksi mutan putatif kalus kedelai yang memiliki tingkat toleransi kekeringan lebih tinggi dibandingkan varietas Gepak Kuning (>0.67 MPa). Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mendapatkan lama penyinaran sinar UV C yang dapat menghasilkan mutan putatif kedelai yang toleran kekeringan hingga -0.99 MPa.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dengan metode percobaan ini dilaksanakan pada bulan Maret hingga Juni 2024 di Laboratorium Kultur Jaringan Fakultas Pertanian, Universitas Andalas.

Bahan dan Alat

Eksplan yang digunakan adalah kalus yang bersumber dari kotiledon muda kedelai varietas Dega-1. Kotiledon tersebut dikulturkan pada media yang mengandung MS 4.43 g L⁻¹, ZPT 2.4-D 10 ppm, sukrosa 30 g L⁻¹ dan GelzanTM 2 g L⁻¹ sebagai bahan pematat media. Bahan lain yang digunakan adalah aquades steril, alkohol 96%, alkohol 70%, aluminium foil, kertas HVS, plastik wrap, tisu, karet gelang, plastik bening, NaOCl 5.25%, KOH 1 N, HCl 1 N, spiritus, ZPT *Naphtalena Acetic Acid* (NAA), kasa steril, detergen cair, dan PEG 6000 sebagai agen seleksi cekaman kekeringan.

Alat yang digunakan adalah botol kultur 100 ml, autoklaf, timbangan analitik, *hotplate*, *magnetic stirrer*, erlenmeyer, *petridish*, bunsen, pH meter, pipet tetes, pinset, dan pisau scalpel. Lampu UV C λ 254 nm 14 Watt dan UV box merupakan alat yang digunakan untuk induksi mutasi.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan berupa Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang dikelompokkan berdasarkan waktu penanaman. Perlakuan yang diberikan adalah lama penyinaran sinar UV C λ 254 nm yang terdiri dari 10 taraf perlakuan, yaitu : Tanpa radiasi (R0), Radiasi 15 menit (R1), Radiasi 30 menit (R2), Radiasi 45 menit (R3), Radiasi 60 menit (R4), Radiasi 75 menit (R5), Radiasi 90 menit (R6), Radiasi 105 menit (R7), Radiasi 120 menit (R8), Radiasi 135 menit (R9). Setiap perlakuan terdiri dari 5 kelompok sehingga terdapat 50 satuan percobaan dan setiap percobaan terdiri dari 6 botol kultur. Setiap botol kultur terdapat 2 eksplan. Hasil pengamatan penelitian yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis statistik sederhana dengan perhitungan rata-rata dan standar deviasi.



Jagur

Jurnal Agroteknologi

eISSN 2828-6022, Doi: <https://doi.org/10.25077/jagur.7.2.121-126.2025>

Penerbit: Universitas Andalas, Website: jagur.faperta.unand.ac.id

Volume 7 Nomor 2, Oktober (2025): 121- 126

Prosedur Penelitian

Sterilisasi Alat dan Lingkungan Kerja

Semua peralatan yang digunakan dicuci dengan detergen cair dan dibilas dengan air mengalir. Botol kultur direndam dalam larutan NaOCl 5,25% selama 24 jam. Kemudian alat dikeringkan dan alat bantu tanam seperti pinset, gagang scalpel, dan petridish dibungkus kertas HVS. Botol kultur dan alat bantu tanam disterilisasi dengan autoklaf pada tekanan 0,103 MPa dan suhu 121°C selama 20 menit. Ruang pembuatan media, ruang inkubasi dan ruang penanaman disterilisasi dengan alkohol 70%. LAFC disterilisasi dengan sinar UV selama 1 jam dan alkohol 70%.

Sterilisasi Eksplan

Sumber eksplan yang digunakan dalam induksi kalus embriogenik adalah kotiledon muda kedelai varietas Dega-1 yang berumur ± 14 hari setelah anthesis. Kotiledon yang dipilih merupakan kotiledon muda berwarna hijau yang berukuran 3-5 mm dan bijinya masih lunak. Eksplan disterilisasi dengan cara polong kedelai dicuci menggunakan detergen cair dan dibilas dengan air mengalir serta direndam dalam larutan NaOCl selama 20 menit, lalu dibilas dengan akuades steril.

Pembuatan Media Kultur

Induksi kalus dari eksplan kotiledon muda dilakukan pada media MS dengan penambahan MS instan 4.43 g L⁻¹, ZPT 2,4-D 10 ppm (Nastiti, 2022), sukrosa 30 g L⁻¹ dan GelzanTM 3 g L⁻¹. Kemudian ditambahkan akuades steril hingga mencapai volume 1 L dan dimasukkan *magnetic stirrer* ke dalam erlenmeyer. Erlenmeyer diletakkan di atas *hotplate* dan pH media kultur diukur hingga mencapai 5,8. Media kultur dihomogenkan sebelum dipanaskan di *hotplate*. Pemanasan dilakukan sampai media kultur mendidih dan kemudian dimasukkan ke dalam botol kultur dengan volume 10 mL/botol. Botol ditutup dengan plastik bening dan diikat dengan karet gelang. Sterilisasi media kultur dilakukan dengan autoklaf pada tekanan 0,103 MPa dan suhu 121°C selama 15 menit. Kemudian media kultur dipindahkan ke ruang inkubasi dan diletakkan di rak kultur.

Penanaman Eksplan

Polong yang telah disterilisasi dibuka menggunakan pinset dan scalpel untuk diambil kotiledonnya. Ujung dan pangkal kotiledon dipotong dan diberi pelukaan. Kotiledon ditanam dalam botol kultur dengan posisi abaxial. Setiap botol kultur terdapat 2 kotiledon kedelai. Selanjutnya botol ditutup dengan plastik bening dan diikat dengan karet gelang serta dilapisi plastik. Kemudian botol diletakkan pada rak kultur di ruang

inkubasi pada kondisi gelap dan suhu 23-25°C. Perkembangan eksplan diamati selama 4 minggu.

Induksi Mutagen Sinar UV C

Kalus embriogenik yang dihasilkan dari kultur *in vitro* kemudian di induksi mutasi dalam UV Box dengan menggunakan radiasi dari lampu UV C λ 254 nm sesuai dengan perlakuan yang telah ditentukan dengan jarak 20 cm dari sumber sinar. Intensitas cahaya yang terukur yaitu 390 lux.

Seleksi *In Vitro* Kalus Kedelai

Kalus embriogenik hasil mutasi diseleksi pada media MS cair yang mengandung ZPT 2,4 D 10 ppm, NAA 10 ppm, dan PEG 6000 dengan konsentrasi 25%. Kalus ditempatkan diatas kasa steril untuk memungkinkan penyerapan nutrisi dari media kultur. Proses seleksi *in vitro* berlangsung selama 8 minggu. Daya toleransi kalus terhadap cekaman kekeringan diamati secara visual berdasarkan range penilaian yang terdapat pada Tabel 1 yang digunakan oleh Ubudiyah & Nurhidayati (2013) dan terdapat beberapa modifikasi.

Tabel 1. Skoring pengamatan visual daya toleransi kalus

Skor	Deskripsi	Keterangan
1	Mati, kalus berwarna hitam atau coklat seluruhnya	Sangat peka
3	Berair, lebih dari 75% kalus berwarna coklat	Peka
4	Berwarna kuning kecokelatan dengan permukaan licin	Moderat
7	Berwarna kuning pucat, kalus remah (<i>friable</i>)	Toleran
9	Berwarna kuning pucat, kalus sehat bersifat nodular dan remah (<i>friable</i>)	Sangat toleran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persentase Eksplan Hidup

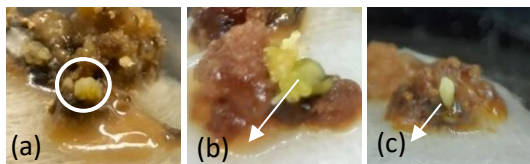
Berdasarkan hasil pengamatan didapatkan hasil bahwa persentase eksplan yang bertahan hidup di media seleksi PEG 25% sangat rendah (Tabel 2).

Pengamatan persentase eksplan hidup didasarkan pada kategori hidup atau mati suatu eksplan. Eksplan yang hidup dicirikan dengan kalus tidak mengalami *browning* dan *blackening*, munculnya sel pemula yang merismatik, dan munculnya embrio somatik. Eksplan yang mati dicirikan dengan terjadinya perubahan warna kalus dari putih kekuningan menjadi kuning kecokelatan hingga hitam yang diamati secara visual pada permukaan kalus.

Tabel 2. Persentase Eksplan yang Bertahan Hidup pada Media Seleksi PEG 25%

Lama Penyinaran (menit)	Persentase Eksplan Hidup (%)
0	0,00 ± 0,00
15	0,00 ± 0,00
30	1,67 ± 12,8
45	3,33 ± 17,9
60	0,00 ± 0,00
75	0,00 ± 0,00
90	0,00 ± 0,00
105	1,67 ± 12,8
120	0,00 ± 0,00
135	1,67 ± 12,8

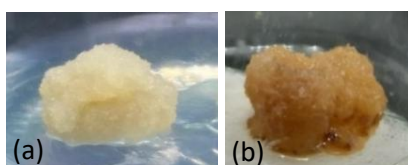
Kalus yang bertahan hidup di media seleksi merupakan kalus yang diiradiasi sinar UV C selama 30, 45, 105, dan 135 menit sehingga dapat diduga kalus tersebut sebagai mutan putatif. Pada kalus tersebut terdapat sel-sel mutan yang merismatik yang muncul dari kalus berwarna coklat kehitaman (Gambar 1).



Gambar 1. Eksplan yang Bertahan Hidup pada Media Seleksi PEG 25%; (a) kalus berwarna kuning, (b) embrio somatik fase globular, (c) embrio somatik fase torpedo

Struktur Kalus

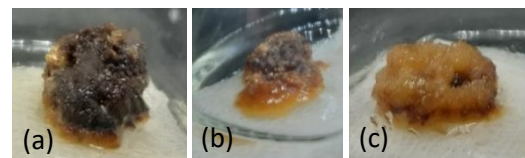
Struktur kalus merupakan salah satu indikator pertumbuhan eksplan pada kultur *in vitro* yang menggambarkan visual eksplan. Secara visual penampilan kalus yang terbentuk pada setiap perlakuan yaitu berstruktur kompak (Gambar 2). Hal ini menunjukkan bahwa iradiasi sinar UV C dan PEG 25% tidak mempengaruhi struktur kalus. Kalus yang kompak dicirikan dengan struktur sel yang padat dan rapat serta sulit dipisah.



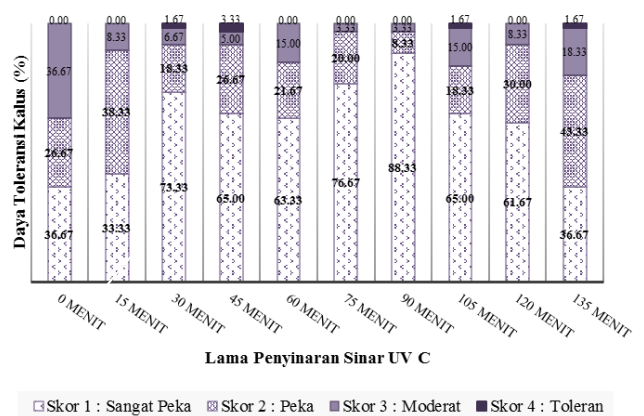
Gambar 2. Struktur Kalus Kompak, a) sebelum induksi mutasi; b) setelah induksi mutasi

Daya Toleransi Kalus

Parameter yang dapat digunakan untuk menguji daya toleransi kalus pada percobaan ini yaitu warna kalus. Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh tiga kelompok warna kalus yaitu hitam, coklat kehitaman, dan kuning kecoklatan (Gambar 3). Tingginya persentase kalus berwarna hitam menunjukkan bahwa kedelai varietas Dega-1 merupakan varietas yang sangat peka terhadap cekaman kekeringan (Gambar 4)



Gambar 3. Warna kalus pada media seleksi PEG 25%; (a) Hitam, (b) Coklat Kehitaman, (c) Kuning Kecoklatan



Gambar 4. Persentase Daya Toleransi Kalus pada Media Seleksi PEG 25%

Persentase Kalus yang Menghasilkan Embrio Somatik (%)

Embrio somatik merupakan kumpulan sel yang terbentuk dari sel somatik dan memiliki kemampuan untuk beregenerasi. Berdasarkan Tabel 3 iradiasi sinar UV C dapat memacu daya regenerasi kalus membentuk embrio somatik pada media seleksi PEG 25%. Embrio somatik yang terbentuk selama pengamatan sudah mencapai fase globular dan torpedo (Gambar 1b dan 1c).

Perubahan warna kalus dari putih kekuningan menjadi kuning kecoklatan hingga hitam menunjukkan bahwa pertumbuhan kalus semakin menurun. Hal ini terjadi karena kalus yang diiradiasi sinar UV C dan diseleksi pada media PEG 25% mengalami stres



Jagur

Jurnal Agroteknologi

eISSN 2828-6022, Doi: <https://doi.org/10.25077/jagur.7.2.121-126.2025>

Penerbit: Universitas Andalas, Website: jagur.faperta.unand.ac.id

Volume 7 Nomor 2, Oktober (2025): 121- 126

sehingga kalus meningkatkan senyawa *reactive oxygen species* (ROS) sebagai sistem pertahanan terhadap cekaman. Namun, produksi ROS yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan oksidatif terhadap molekuler dan seluler sehingga mengakibatkan tanaman meningkatkan beberapa mekanisme stres seperti menghasilkan senyawa antioksidan (Mansoor *et al.*, 2022).

Tabel 3. Persentase Kalus yang Menghasilkan Embrio Somatik pada Media Seleksi PEG 25%

Lama Penyinaran (menit)	Embrio Somatik (%)
0	0,00 ± 0,00
15	0,00 ± 0,00
30	0,00 ± 0,00
45	3,33 ± 17,9
60	0,00 ± 0,00
75	0,00 ± 0,00
90	0,00 ± 0,00
105	1,67 ± 12,8
120	0,00 ± 0,00
135	1,67 ± 12,8

Menurut Nichols *et al.* (2015) tanaman merespon stres kekeringan dengan mengakumulasi antioksidan seperti asam fenolik dan flavonoid. Akumulasi flavonoid dalam sitoplasma dapat mendetoksifikasi molekul H₂O₂ yang dihasilkan selama stres kekeringan, dan flavonoid dioksidasi dengan bantuan rekonversi melalui mediasi asam askorbat dan membentuk metabolit primer (Sharma *et al.*, 2019). Namun, produksi senyawa fenolik dalam jumlah besar dapat menyebabkan terjadinya penumpukan senyawa beracun yang dapat merusak sel eksplan sehingga mengakibatkan sel tersebut mati.

Stres akibat iradiasi menyebabkan sel pada eksplan mengubah program seluler dan molekulernya serta pemrograman ulang ekspresi gen (Méndez-Hernández *et al.*, 2019). Eksplan yang bertahan hidup pada media PEG 25% dapat beregenerasi menjadi embrio somatik karena terdapat sel-sel mutan yang meristik. Pada mutan putatif tersebut gen-gen yang toleran kekeringan terekspresi. Gen-gen tersebut berperan dalam regulasi osmotik, resistensi dehidrasi dan perlindungan antioksidan selama stres kekeringan (Deng *et al.*, 2023).

Yang *et al.* (2022) melaporkan bahwa *GmNAC12* (*Glyma.16G043200*) mengatur toleransi kekeringan pada kedelai melalui jalur transduksi sinyal

hormon asam absisat (ABA) dan etilen (ETH) serta meningkatkan aktivitas peroksidase intraseluler untuk menghilangkan senyawa ROS yang berlebihan. Ouyang *et al.* (2022) juga telah mengidentifikasi gen ketahanan kekeringan pada kedelai seperti gen *methionine sulfoxide reductase* atau MSR (*Glyma.15G100700*). Gen MSR mengkode enzim *Methionine Sulfoxide Reductase* (MSR) yang berperan dalam melindungi sel dari kerusakan dengan cara mengkatalisis reduksi methionine sulfoxide (MetO) menjadi methionine (Met).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa persentase tertinggi mutan putatif kedelai yang toleran terhadap kekeringan (PEG 6000 25%) dihasilkan dari iradiasi sinar UV C selama 45 menit yaitu 3,33%. Mutan tersebut muncul dari kalus yang berwarna coklat kehitaman dan berkembang menjadi kalus yang berwarna kuning dan juga beregenerasi menjadi embrio somatik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Direktorat Jendral Pembelajaran dan Kemahasiswaan, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Penelitian dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Program Kreativitas Mahasiswa bidang Riset Eksakta (PKM-RE) dengan nomor kontrak 006/E2/PPK/SPPK/PKM/2024 serta Universitas Andalas yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pangan Nasional. (2022). *Laporan Kinerja Badan Pangan Nasional Tahun Anggaran 2022*. Badan Pangan Nasional.
- Budi, R. S., Suliansyah, I., Yusniwati, & Sobrizal. (2019). Perbaikan Genetik Padi Gogo Beras Merah Sumatera Utara melalui Pemuliaan Mutasi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 15(1).
- Deng, C., Zhang, Y., Wang, B., Wang, H., Xue, P., Cao, Y., Sun, L., Cheng, S., Cao, L., & Chen, D. (2023). Identification and Fine Mapping of Osdsr3, a Drought-Sensitive Gene in Rice (*Oryza sativa* L.). *Agronomy*, 13(9), 2241. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092241>



Jagur

Jurnal Agroteknologi

eISSN 2828-6022, Doi: <https://doi.org/10.25077/jagur.7.2.121-126.2025>

Penerbit: Universitas Andalas, Website: jagur.faperta.unand.ac.id

Volume 7 Nomor 2, Oktober (2025): 121- 126

- Haryanti, S. (2024). *Iradiasi Sinar Ultraviolet-C Untuk Peningkatan Kelenjer Minyak dan Ketahanan Penakit Layu Bakteri pada Nilam (Pogostemon cablin Benth.)* [Thesis]. Universitas Andalas.
- International Atomic Energy Agency, (IAEA). (2023). *Mutant Variety Database* [Dataset]. <https://nucleus.iaea.org/sites/mvd/SitePages/Home.aspx>
- Lestari, E. G. (2021). Aplikasi Induksi Mutasi Untuk Pemuliaan Tanaman Hias. *Jurnal ilmu-ilmu Hayati*, 20(1), 1–12. <https://doi.org/10.14203/beritabiologi.v20i1.3991>
- Mansoor, S., Ali Wani, O., Lone, J. K., Manhas, S., Kour, N., Alam, P., Ahmad, A., & Ahmad, P. (2022). Reactive Oxygen Species in Plants: From Source to Sink. *Antioxidants*, 11(2), 225. <https://doi.org/10.3390/antiox11020225>
- Méndez-Hernández, H. A., Ledezma-Rodríguez, M., Avilez-Montalvo, R. N., Juárez-Gómez, Y. L., Skeete, A., Avilez-Montalvo, J., De-la-Peña, C., & Loyola-Vargas, V. M. (2019). Signaling Overview of Plant Somatic Embryogenesis. *Frontiers in Plant Science*, 10, 77. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00077>
- Nastiti, D. H. (2022). *Induksi Embrio Somatik Sekunder Kedelai (Glycine max (L.) Merrill) Varietas Dega dengan Pemberian Kombinasi 2,4-D dan NAA secara In Vitro*. Universitas Andalas.
- Nichols, S. N., Hofmann, R. W., & Williams, W. M. (2015). Physiological drought resistance and accumulation of leaf phenolics in white clover interspecific hybrids. *Environmental and Experimental Botany*, 119, 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.014>
- Ouyang, W., Chen, L., Ma, J., Liu, X., Chen, H., Yang, H., Guo, W., Shan, Z., Yang, Z., Chen, S., Zhan, Y., Zhang, H., Cao, D., & Zhou, X. (2022). Identification of Quantitative Trait Locus and Candidate Genes for Drought Tolerance in a Soybean Recombinant Inbred Line Population. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(18), 10828. <https://doi.org/10.3390/ijms231810828>
- Pamungkas, S. S. T., Suwanto, Suprayogi, & Farid, N. (2022). Drought Stress: Responses and Mechanism in Plants. *Reviews in Agricultural Science*, 10(0), 168–185. https://doi.org/10.7831/ras.10.0_168
- Pujiwati, H., Romeida, A., Widodo, Prameswari, W., Husna, M. L., & Anandyawati. (2021). *Rapid Screening Tolerance of 19 Soybean Varieties to Drought in the Germination Phase: International Seminar on Promoting Local Resources for Sustainable Agriculture and Development (ISPLRSAD 2020)*, Bengkulu, Sumatra, Indonesia, Indonesia. <https://doi.org/10.2991/absr.k.210609.044>
- Ritung, S., Husen, E., Agus, F., & Nursyamsi, D. (with IAARD Press). (2015). *Sumber daya lahan pertanian Indonesia: Luas, penyebaran, dan potensi ketersediaan*. Indonesian Agency for Agricultural Research and Development Press.
- Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., & Zheng, B. (2019). Response of Phenylpropanoid Pathway and the Role of Polyphenols in Plants under Abiotic Stress. *Molecules*, 24(13), 2452. <https://doi.org/10.3390/molecules24132452>
- Sulastri, Rosdayanti, H., & Nawfetriyas, W. (2021). Potensi Pembentukan Alfalfa (*Medicago sativa*) Toleran Kering Melalui Induksi Mutasi Iradiasi Sinar UV-C dan Seleksi Variasi Somaklonal. *Prosiding Seminar Nasional Komisi Nasional Sumber Daya Genetik*, 693–705.
- Surmaini, E., & Faqih, A. (2016). Kejadian Iklim Ekstrem dan Dampaknya Terhadap Pertanian Tanaman Pangan di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 10(2), 115–128.
- Ubudiyah, I. W. A., & Nurhidayati, T. (2013). Respon Kalus Beberapa Varietas Padi (*Oryza sativa* L.) pada Kondisi Cekaman Salinitas (NaCl) secara In Vitro. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 2(2), 2337–3520.
- Yang, C., Huang, Y., Lv, P., Antwi-Boasiako, A., Begum, N., Zhao, T., & Zhao, J. (2022). NAC Transcription Factor GmNAC12 Improved Drought Stress Tolerance in Soybean. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(19), 12029. <https://doi.org/10.3390/ijms231912029>