

Pengaruh Priming Auksin Terhadap Perkecambahan Benih Padi Ir64 Pada Cekaman Salinitas

Anggraini Anggraini¹, Muftia Nadhra¹, Yoana Marizky Siregar¹, & Violita Violita^{1*}

¹Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang

*Corresponding author E-mail: violita@fmipa.unp.ac.id

Article History

Received : February 14th, 2026

Revised : February 23th, 2026

Accepted : March 25th, 2026

*Corresponding Author:

Violita Violita,

Departemen Biologi, Fakultas

Matematika dan Ilmu

Pengetahuan Alam, Universitas

Negeri Padang;

Email: violita@fmipa.unp.ac.id

Abstract: Salinity is a major abiotic constraint that limits rice establishment, particularly during germination when seedlings are physiologically vulnerable. This study investigated the effect of auxin priming on germination performance and early seedling growth of IR64 rice exposed to 100 mM NaCl, and identified the most effective auxin concentration. The experiment was conducted using a Completely Randomized Design with five treatments: non-primed seeds and auxin priming at concentrations of 0, 25, 50, and 100 ppm, each with three replications. Statistical analysis was performed using analysis of variance (ANOVA), followed by Duncan's Multiple Range Test at the 5% significance level. Parameters observed included germination percentage and rate, root and plumule length, total seedling length, vigor index, fresh and dry weight, and lipid peroxidation. Auxin priming significantly enhanced germination rate, seedling growth, vigor index, and biomass accumulation, while reducing lipid peroxidation under saline conditions. Among the treatments, P3 exhibited the most consistent improvement under salinity stress, whereas P1 showed the highest overall growth under non-stress conditions. These findings indicate that appropriate auxin priming can improve the early physiological performance of rice seedlings under salt stress.

Keywords: *Auxin, oxidative stress, rice, seed priming, salinity*

Pendahuluan

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan komoditas strategis yang menopang kebutuhan pangan di berbagai negara tropis, termasuk Indonesia. Karakteristik fisiologisnya sebagai tanaman C3 menyebabkan efisiensi fotosintesis mudah menurun ketika lingkungan tidak mendukung, sehingga tanaman ini sensitif terhadap berbagai cekaman abiotik, terutama salinitas. Peningkatan luas lahan salin akibat degradasi tanah dan perubahan iklim global menjadi ancaman serius bagi produksi padi. Salinitas dapat menurunkan produktivitas sejak fase awal pertumbuhan, khususnya pada tahap perkecambahan yang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan (Hussain *et al.*, 2021; Hasanuzzaman *et al.*, 2022). Pada fase ini, stres salinitas dapat menghambat pemanjangan radikula serta menurunkan aktivitas enzim hidrolitik yang berperan dalam mobilisasi

cadangan makanan, sehingga pertumbuhan awal menjadi terhambat (Sharma *et al.*, 2022; Zörb *et al.*, 2022).

Pada fase perkecambahan, cekaman salinitas menghambat imbibisi air akibat tekanan osmotik tinggi serta menyebabkan ketidakseimbangan ion melalui akumulasi Na⁺ dan Cl⁻ dalam jaringan benih. Kondisi ini mengganggu metabolisme cadangan makanan, menurunkan aktivitas enzim hidrolitik, serta memicu akumulasi *reactive oxygen species* (ROS) yang menyebabkan peroksidasi lipid dan kerusakan membran sel (Fahad *et al.*, 2021; Hasanuzzaman *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2024). Konsentrasi NaCl 100 mM banyak digunakan untuk mensimulasikan cekaman salinitas sedang karena mampu menimbulkan stres osmotik dan ionik tanpa sepenuhnya menghambat proses perkecambahan, sehingga respons fisiologis benih masih dapat diamati secara jelas. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi ini

efektif menurunkan kecepatan perkecambahan, mengganggu keseimbangan air dan ion, serta meningkatkan produksi ROS, namun masih memungkinkan evaluasi parameter pertumbuhan awal secara kuantitatif (El-Katony *et al.*, 2024; Üstün, 2025).

Salah satu pendekatan yang berpotensi meningkatkan toleransi benih terhadap salinitas adalah teknik priming. Priming benih mengaktifkan metabolisme awal sebelum radikula muncul sehingga benih lebih siap menghadapi kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan (Paparella *et al.*, 2021). Auksin sebagai salah satu hormon pertumbuhan berperan dalam pemanjangan sel, pembentukan sistem perakaran, serta regulasi respons stres melalui modulasi keseimbangan hormonal dan sistem antioksidan (Gamalero & Glick, 2022; Kaur *et al.*, 2024). Beberapa penelitian melaporkan bahwa aplikasi auksin mampu meningkatkan pertumbuhan dan respons fisiologis tanaman pada kondisi salinitas (Rhaman *et al.*, 2022). Utama dan Violita (2024) melaporkan bahwa pemberian auksin pada kondisi cekaman salinitas dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif padi, terutama pada parameter panjang akar dan tinggi tanaman. Namun, kajian mengenai efektivitas priming auksin terhadap perkecambahan benih padi varietas IR64 di bawah cekaman salinitas masih terbatas.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh priming auksin terhadap perkecambahan dan pertumbuhan awal benih padi varietas IR64 pada kondisi cekaman salinitas serta menentukan konsentrasi yang paling efektif. Penelitian ini memiliki unsur kebaruan karena secara spesifik mengkaji respons fisiologis dan tingkat peroksidasi lipid benih IR64 pada fase perkecambahan akibat kombinasi perlakuan priming auksin dan cekaman salinitas. Hasil penelitian diharapkan dapat memperkaya informasi ilmiah mengenai strategi peningkatan toleransi salinitas pada fase awal pertumbuhan padi.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November–Desember 2025 di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan, Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Rancangan

percobaan yang diterapkan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor, karena seluruh unit percobaan dilakukan dalam kondisi laboratorium yang relatif homogen. Faktor yang diuji berupa konsentrasi auksin pada perlakuan priming, yang terdiri atas lima taraf, yaitu: P1 (kontrol), P2 (priming 0 ppm + NaCl 100 mM), P3 (priming 25 ppm + NaCl 100 mM), P4 (priming 50 ppm + NaCl 100 mM), dan P5 (priming 100 ppm + NaCl 100 mM). Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali sehingga diperoleh 15 unit percobaan. Setiap unit terdiri atas 25 benih.

Benih padi varietas IR64 yang digunakan memiliki ukuran dan kondisi fisik seragam serta dipilih secara acak dari satu sumber benih untuk memastikan homogenitas sampel. Sebelum perlakuan, benih disterilisasi menggunakan larutan NaClO 2,5% dan dibilas dengan akuades steril, kemudian direndam dalam larutan auksin sesuai perlakuan. Setelah perlakuan priming, benih dikecambahkan pada media kertas merang dalam cawan petri. Cekaman salinitas diberikan menggunakan larutan NaCl 100 mM, sedangkan kontrol menggunakan akuades. Penyiraman dilakukan setiap 72 jam dengan volume 10 mL selama 7 hari pengamatan, dan seluruh kondisi lingkungan dibuat seragam.

Parameter yang diamati meliputi persentase dan laju perkecambahan, panjang akar, panjang plumula, panjang kecambah, indeks vigor, berat basah dan berat kering kecambah, serta tingkat peroksidasi lipid menggunakan metode histokimia Schiff reagent. Data yang didapatkan dianalisis dengan uji *one-way analysis of variance* (ANOVA), jika terdapat perbedaan nyata maka diuji lanjut dengan *Duncan's New Multiple Range Test* (DNMRT) pada taraf 5%. Khusus data peroksidasi lipid dilakukan analisis secara deskriptif.

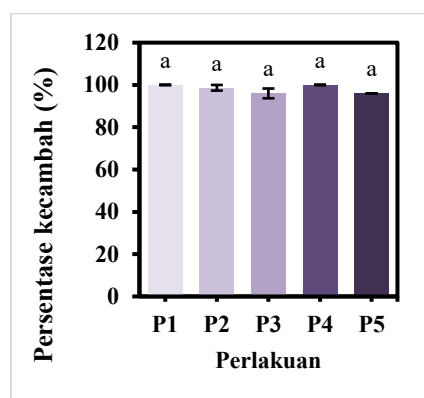
Hasil dan Pembahasan

Persentase Perkecambahan (%)

Hasil analisis menunjukkan bahwa priming auksin berpengaruh nyata terhadap persentase perkecambahan ($p < 0,05$). Seluruh perlakuan berada pada kelompok huruf yang sama (a) berdasarkan uji lanjut, dengan persentase perkecambahan tertinggi terdapat pada P1 dan P4 (100%), P2 (98,67%), serta P3 dan P5 (96%) (Gambar 1). Hasil ini menunjukkan bahwa

viabilitas benih IR64 masih mampu dipertahankan pada tingkat salinitas 100 mM. Proses imbibisi dan aktivasi metabolisme awal masih berlangsung secara normal meskipun terdapat tekanan osmotik. Munns *et al.* (2020) menjelaskan bahwa pada fase awal perkecambahan, toleransi terhadap salinitas lebih dipengaruhi oleh kualitas fisiologis benih dibandingkan perlakuan hormonal eksternal.

Hasanuzzaman *et al.* (2021) juga melaporkan bahwa pada konsentrasi salinitas sedang, persentase perkecambahan padi sering kali tidak mengalami penurunan signifikan, tetapi parameter pertumbuhan selanjutnya lebih sensitif terhadap stres. Penelitian ini menunjukkan bahwa priming auksin belum menunjukkan efek signifikan pada fase viabilitas awal, namun kemungkinan berperan pada fase pertumbuhan lanjutan.



Gambar 1. Rerata persentase perkecambahan benih padi varietas IR64.

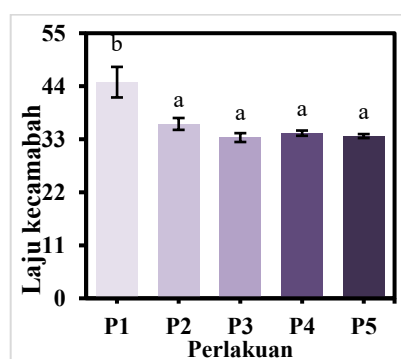
Laju Perkecambahan

Hasil analisis menunjukkan bahwa priming auksin berpengaruh nyata terhadap laju perkecambahan ($p < 0,05$). Perlakuan P1 menghasilkan laju perkecambahan tertinggi berbeda nyata dibandingkan perlakuan lainnya, sedangkan perlakuan dengan cekaman salinitas menunjukkan penurunan kecepatan munculnya kecambah. Perlakuan priming yang dikombinasikan dengan cekaman salinitas, P2 menunjukkan nilai laju perkecambahan tertinggi, meskipun tidak berbeda nyata perlakuan cekaman lainnya (Gambar 2.).

Salinitas menyebabkan tekanan osmotik yang menghambat penyerapan air dan memperlambat aktivitas enzim hidrolitik. Kondisi ini menunda munculnya radikula

meskipun persentase perkecambahan tetap tinggi. Menurut Yan *et al.* (2022), stres salinitas menurunkan kecepatan respirasi dan mobilisasi cadangan makanan pada fase awal perkecambahan.

Aplikasi auksin melalui priming diduga membantu mempertahankan aktivitas pembelahan sel dan elongasi awal, meskipun efektivitasnya bergantung pada konsentrasi yang diberikan (Wang *et al.*, 2021). Penelitian menunjukkan bahwa auksin memiliki potensi memperbaiki kecepatan perkecambahan, tetapi responsnya tidak selalu linear terhadap peningkatan konsentrasi.



Gambar 2. Rerata laju perkecambahan benih padi varietas IR64

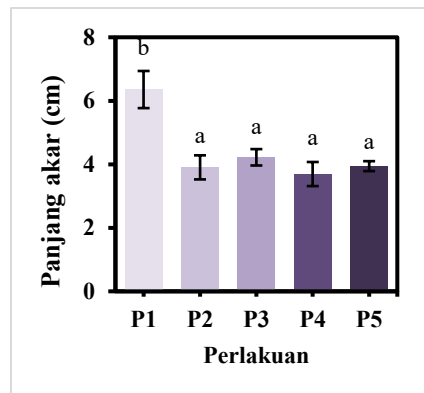
Panjang Akar (cm)

Hasil analisis menunjukkan bahwa priming auksin berpengaruh nyata terhadap panjang akar kecambah ($p < 0,05$). Perlakuan P1 menghasilkan panjang akar tertinggi dan berbeda nyata dibandingkan seluruh perlakuan lainnya. Perlakuan priming yang dikombinasikan dengan cekaman salinitas, P3 menunjukkan panjang akar tertinggi dibandingkan dengan perlakuan cekaman lainnya (Gambar 3.).

Salinitas menghambat pemanjangan akar melalui akumulasi ion Na^+ dan gangguan keseimbangan ion K^+ yang menghambat ekspansi sel. Auksin berperan langsung dalam regulasi pemanjangan sel akar melalui mekanisme pelonggaran dinding sel. Raza *et al.* (2021) melaporkan bahwa perlakuan hormonal mampu meningkatkan toleransi akar terhadap stres salinitas melalui regulasi ekspresi gen terkait pertumbuhan.

Iqbal *et al.* (2022) juga menunjukkan bahwa perlakuan hormon eksogen dapat meningkatkan panjang akar dengan mengoptimalkan aktivitas

meristematik di bawah cekaman abiotik. Penelitian ini menunjukkan bahwa priming auksin berpotensi meningkatkan toleransi sistem perakaran terhadap salinitas pada fase awal pertumbuhan.



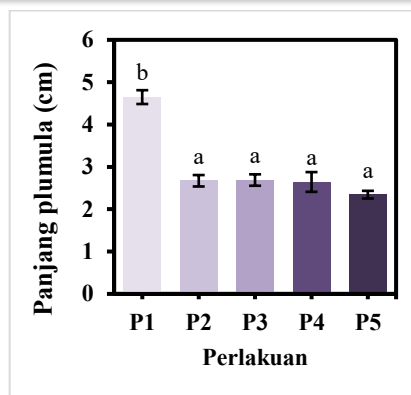
Gambar 3. Rerata panjang akar benih padi varietas IR64.

Panjang Plumula (cm)

Hasil analisis menunjukkan bahwa priming auksin berpengaruh nyata terhadap panjang plumula ($p < 0,05$). Perlakuan P1 menghasilkan panjang plumula tertinggi dan berbeda nyata dibandingkan seluruh perlakuan lainnya. Perlakuan priming yang dikombinasikan dengan cekaman salinitas, menunjukkan bahwa perlakuan P3 memiliki panjang plumula tertinggi, meskipun tidak berbeda nyata dengan perlakuan cekaman lainnya (Gambar 4.).

Salinitas meningkatkan produksi *reactive oxygen species* (ROS) yang dapat merusak jaringan tajuk muda. Auksin diduga membantu menjaga keseimbangan hormonal dan stabilitas membran sel sehingga pertumbuhan plumula tetap berlangsung. Menurut Hasanuzzaman *et al.* (2020), stres salinitas memicu gangguan pertumbuhan tajuk akibat ketidakseimbangan metabolik dan stres oksidatif.

Penelitian Li *et al.* (2023) menunjukkan bahwa regulasi hormon pertumbuhan berperan penting dalam mempertahankan elongasi tajuk pada kondisi cekaman garam. Hasil ini memperkuat bahwa priming auksin membantu mempertahankan pertumbuhan plumula pada fase awal stres salinitas.

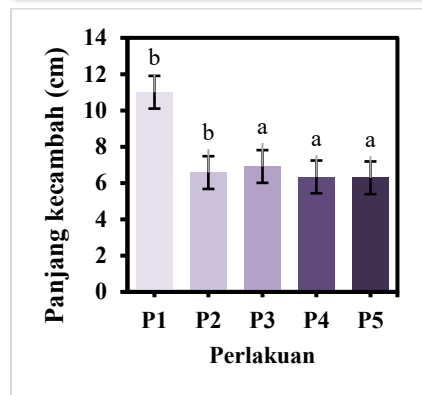


Gambar 4. Rerata panjang plumula benih padi varietas IR64

Panjang Kecambah (cm)

Hasil analisis menunjukkan bahwa priming auksin berpengaruh nyata terhadap panjang kecambah ($p < 0,05$). Perlakuan P1 menghasilkan panjang kecambah tertinggi. Perlakuan priming yang dikombinasikan dengan cekaman salinitas menunjukkan bahwa perlakuan P3 memiliki rata-rata panjang kecambah paling tinggi, serta tidak berbeda nyata dengan P4 dan P5. Parameter ini mencerminkan akumulasi respons pertumbuhan akar dan plumula (Gambar 5.).

Penurunan panjang kecambah pada perlakuan cekaman tanpa priming (P2) menunjukkan adanya gangguan fisiologis akibat tekanan osmotik dan toksisitas ion. Yan *et al.* (2022) menjelaskan bahwa salinitas menurunkan ekspansi sel dan pembentukan jaringan baru akibat gangguan metabolisme karbon. Peningkatan panjang kecambah pada perlakuan priming menunjukkan bahwa auksin dapat membantu mempertahankan keseimbangan fisiologis awal tanaman. Hasil ini menunjukkan bahwa priming auksin dapat meningkatkan kemampuan adaptasi awal tanaman terhadap lingkungan salin.

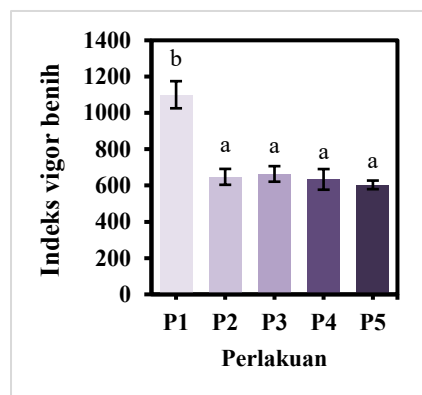


Gambar 5. Rerata panjang kecambah benih padi varietas IR64

Indeks Vigor Benih

Hasil analisis menunjukkan bahwa priming auksin berpengaruh nyata terhadap indeks vigor benih ($p < 0,05$). Perlakuan P1 menghasilkan indeks vigor tertinggi dan berbeda nyata dibandingkan perlakuan lainnya. Perlakuan priming yang dikombinasikan dengan cekaman salinitas, P3 menunjukkan nilai indeks vigor tertinggi, meskipun tidak berbeda nyata dengan perlakuan cekaman lainnya (Gambar 6.).

Indeks vigor menggambarkan kombinasi kemampuan berkecambah dan pertumbuhan awal. Wang *et al.* (2021) menyatakan bahwa perlakuan hormonal sebelum perkecambahan dapat meningkatkan performa fisiologis benih melalui peningkatan aktivitas antioksidan. Raza *et al.* (2021) juga melaporkan bahwa peningkatan vigor pada kondisi stres berkaitan dengan stabilitas membran dan efisiensi metabolisme energi. Hasil ini menunjukkan bahwa priming auksin berperan dalam meningkatkan kualitas fisiologis kecambah pada kondisi salinitas.

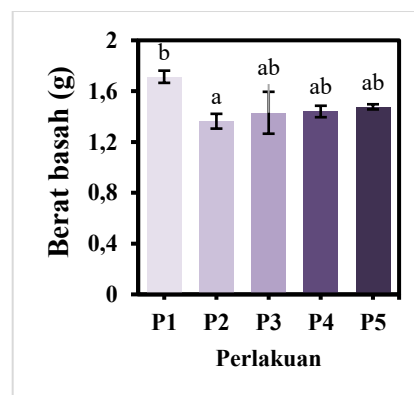


Gambar 6. Rerata indeks vigor benih padi varietas IR64

Berat Basah (g)

Hasil analisis menunjukkan bahwa priming auksin berpengaruh nyata terhadap berat basah kecambah ($p < 0,05$). Perlakuan P1 menghasilkan berat basah tertinggi dan berbeda nyata dengan P2, tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Perlakuan priming yang dikombinasikan dengan cekaman salinitas, P5 menunjukkan berat basah tertinggi dibandingkan dengan perlakuan cekaman lainnya. Perlakuan priming secara umum menunjukkan kecenderungan berat basah lebih tinggi dibanding cekaman tanpa priming (Gambar 7.).

Salinitas menurunkan kapasitas penyerapan air akibat tekanan osmotik eksternal. Hasanuzzaman *et al.* (2021) menjelaskan bahwa stres salinitas mengurangi kandungan air relatif jaringan tanaman. Priming auksin diduga membantu mempertahankan turgor sel melalui regulasi keseimbangan osmotik dan aktivitas metabolik awal. Hasil ini menunjukkan priming auksin dapat membantu mempertahankan hidrasi jaringan pada fase awal pertumbuhan.



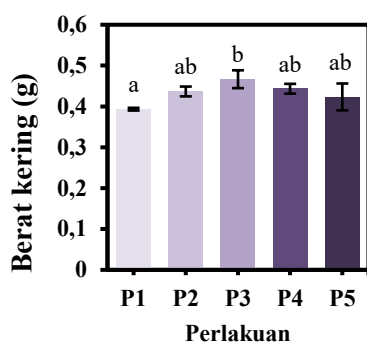
Gambar 7. Rerata berat basah benih padi varietas IR64

Berat Kering (g)

Hasil analisis menunjukkan bahwa priming auksin berpengaruh nyata terhadap berat kering kecambah ($p < 0,05$). Perlakuan P3 menghasilkan berat kering tertinggi dan berbeda nyata dengan P1, tetapi tidak berbeda nyata dengan P2, P4, dan P5. Perlakuan priming yang dikombinasikan dengan cekaman salinitas menunjukkan bahwa P3 memberikan nilai berat kering tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi priming auksin dengan cekaman salinitas pada perlakuan

P3 merupakan perlakuan paling efektif dalam meningkatkan akumulasi biomassa kering (Gambar 8.).

Akumulasi biomassa kering mencerminkan efisiensi fotosintesis awal dan sintesis protein. Li *et al.* (2023) melaporkan bahwa regulasi hormonal dapat meningkatkan akumulasi biomassa pada tanaman yang mengalami stres salinitas. Peningkatan berat kering pada perlakuan priming menunjukkan adanya perbaikan efisiensi metabolisme awal di bawah cekaman.



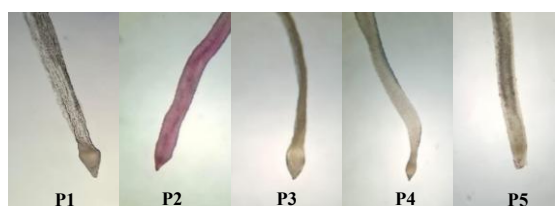
Gambar 8. Rerata berat kering benih padi varietas IR64

Peroksidasi Lipid

Pengamatan histokimia menunjukkan bahwa perlakuan cekaman tanpa priming (P2) memperlihatkan intensitas pewarnaan lebih tinggi dibanding perlakuan priming (Gambar 9.). Peningkatan pewarnaan menunjukkan terjadinya akumulasi malondialdehyde (MDA) sebagai indikator kerusakan membran akibat ROS. Mittler *et al.* (2022) menjelaskan bahwa stres salinitas meningkatkan produksi ROS yang memicu peroksidasi lipid.

Penurunan intensitas pewarnaan pada perlakuan priming menunjukkan bahwa auksin kemungkinan berperan dalam mengaktifkan sistem pertahanan antioksidan dan menekan stres oksidatif pada fase awal pertumbuhan. Studi terbaru pada maize melaporkan bahwa priming benih dengan IAA meningkatkan aktivitas enzim antioksidan seperti superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), dan peroksidase glutathione (GPX), sehingga membantu detoksifikasi ROS dan mencegah peroksidasi lipid di bawah cekaman salinitas (Ellouzi *et al.*, 2024).

Selain itu, akumulasi ROS di bawah salinitas bertindak sebagai sinyal stres yang memicu respons antioksidan endogen melalui peningkatan aktivitas enzim dan metabolit antioksidan, yang berperan dalam perlindungan terhadap kerusakan oksidatif lipid (Decros *et al.*, 2023). Interaksi antara hormon pertumbuhan seperti auksin dan sistem ROS juga telah ditunjukkan berperan penting dalam pengaturan distribusi ROS dan respons pertumbuhan sel di bawah stres lingkungan (Pasternak *et al.*, 2023). Hasil ini mengindikasikan bahwa priming auksin dapat menekan kerusakan membran akibat stres oksidatif pada fase awal pertumbuhan.



Gambar 9. Hasil uji histokimia pada ujung akar primer padi varietas IR64.

Kesimpulan

Priming auksin berpengaruh nyata terhadap parameter pertumbuhan benih padi IR64 di bawah cekaman salinitas NaCl 100 mM. Perlakuan P1 (kontrol) secara konsisten menunjukkan performa terbaik pada laju perkecambahan, panjang akar, plumula, kecambah, indeks vigor, dan berat basah, sedangkan di antara perlakuan priming dengan cekaman, P3 secara numerik cenderung lebih tinggi untuk beberapa parameter seperti panjang akar, panjang plumula, panjang kecambah, indeks vigor, dan berat kering. Selain itu, peroksidasi lipid hanya terjadi pada P2, sedangkan P3, P4 dan P5 mampu menekan akumulasi ROS dan MDA, menunjukkan efektivitas auksin dalam mempertahankan integritas membran dan aktivitas metabolik benih. Hal ini menegaskan bahwa priming auksin dapat meningkatkan toleransi benih padi terhadap stres salinitas, meskipun efektivitasnya tergantung pada konsentrasi auksin yang digunakan.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terlaksana berkat dukungan fasilitas dan sarana laboratorium dari

Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulis juga menyampaikan ucapan terima kasih kepada dosen pembimbing atas arahan dan saran yang diberikan selama proses penelitian. Apresiasi turut disampaikan kepada rekan-rekan yang membantu dalam pelaksanaan kegiatan penelitian hingga penyusunan naskah artikel ini.

Referensi

- Decros, S., Mishra, S., & Van Breusegem, F. (2023). Redox regulation by priming agents toward sustainable agriculture. *Plant and Cell Physiology*, 65(7), 1087–1098.
<https://doi.org/10.1093/pcp/pcad023>
- El-Katony, T. M., Hassan, S. A., El-Ghareib, W. R., & Abd El-Baky, R. M. (2024). Salinity stress induced changes in germination, growth, and physiological responses of cauliflower seedlings under NaCl treatments. *Scientific Reports*, 14, 55325.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-55325-w>
- Ellouzi, H., Ben Slimene Debez, I., Amraoui, S., Rabhi, M., Hanana, M., Alyami, N. M., Alhaithloul, H. A. S., Alzahrani, Y., & Abdelly, C. (2024). Effect of seed priming with auxin on ROS detoxification and carbohydrate metabolism and their relationship with germination and early seedling establishment in salt stressed maize. *BMC Plant Biology*, 24, 704.
<https://doi.org/10.1186/s12870-024-05413-w>
- Fahad, S., Bano, A., Cui, K., & Huang, J. (2021). Hormonal regulation of plant responses to salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 168, 204–217.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.10.003>
- Gamalero, F., & Glick, B. R. (2022). Auxin and plant stress responses: From signaling to tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 73(22), 7000–7014.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erac358>
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., & Fujita, M. (2022). *Plant responses and tolerance to salt stress*. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-981-16-4362-9>
- Hasanuzzaman, M., Raihan, M. R. H., Masud, A. A. C., Rahman, K., Nowroz, F., Rahman, M., & Fujita, M. (2021). Regulation of reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under salinity stress. *Antioxidants*, 10(7), 1–25.
<https://doi.org/10.3390/antiox10071068>
- Hussain, S., Shaukat, M., Ashraf, M., & Zhu, C. (2021). Salinity stress in rice: Effects, tolerance mechanisms, and management. *Plants*, 10(6), 1–22.
<https://doi.org/10.3390/plants10061168>
- Iqbal, M., Ashraf, M., Jamil, A., & Rehman, S. (2016). Does seed priming induce changes in the levels of some endogenous plant hormones in hexaploid wheat plants under salt stress? *Journal of Integrative Agriculture*, 15(7), 1560–1571.
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61290-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61290-6)
- Kaur, H., Sirhindi, G., & Bhardwaj, R. (2024). Role of auxin in plant adaptation to salinity stress. *Plant Stress*, 9, 100199.
<https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100199>
- Li, N., Euring, D., Cha, J.-Y., Lin, Z., Lu, M., & Huang, L.-J. (2023). Hormonal regulation of plant growth and development under salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), 1–21.
<https://doi.org/10.3390/ijms2403xxxx>
- Mittler, R., Zandalinas, S. I., Fichman, Y., & Van Breusegem, F. (2022). Reactive oxygen species signalling in plant stress responses. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 23(10), 663–679.
<https://doi.org/10.1038/s41580-022-00499-2>
- Munns, R., & Tester, M. (2020). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 71, 699–728.
<https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100005>
- Munns, R., Passioura, J. B., Colmer, T. D., & Byrt, C. S. (2020). Osmotic adjustment and energy limitations to plant growth in saline soil. *New Phytologist*, 225(3), 1091–1096.
<https://doi.org/10.1111/nph.15862>
- Paparella, S., Araújo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D., &

- Balestrazzi, A. (2021). Seed priming: State of the art. *Plant Cell Reports*, 40(2), 231–250. <https://doi.org/10.1007/s00299-020-02602-3>
- Pasternak, T., Palme, K., & Pérez-Pérez, J. M. (2023). Role of reactive oxygen species in the modulation of auxin flux and root development in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal*, 114(1), 83–95. <https://doi.org/10.1111/tpj.16118>
- Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S. S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., & Xu, J. (2021). Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants*, 10(1), 1–29. <https://doi.org/10.3390/plants10010034>
- Rhaman, M. S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., & Ahmad, M. (2022). Seed priming improves salt tolerance in rice. *Plants*, 11(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/plants11030317>
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Ramakrishnan, M., Singh Sidhu, G. P., Bali, A. S., Handa, N., Kapoor, D., Yadav, P., Khanna, K., Bakshi, P., Rehman, A., & Thukral, A. K. (2022). Photosynthetic response of plants under salt stress: Mechanisms and adaptive strategies. *Plant Physiology and Biochemistry*, 178, 419–433. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.04.012>
- Üstün, A. S. (2025). Effects of NaCl-induced salinity stress on germination and early seedling growth parameters in sesame (*Sesamum indicum* L.). *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 9(1), 45–56.
- Utama, Y. P., & Violita, V. (2024). Pengaruh Konsentrasi Penyemprotan Auksin Pada Padi (*Oryza Sativa*) Yang Diberikan Simulasi Cekaman Salinitas. *Jurnal Biologi UNAND*, 12(2), 149-155.
- Wang, Y., Li, L., Ye, T., Zhao, S., Liu, Z., Feng, Y. Q., & Wu, Y. (2021). Cytokinin antagonizes ABA suppression to seed germination of rice under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.xxx>
- Yan, K., Shao, H., Shao, C., Chen, P., Zhao, S., Brestic, M., & Chen, X. (2022). Salinity stress affects seed germination and early seedling growth through oxidative damage and hormonal imbalance. *Antioxidants*, 11(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/antiox1104xxxx>
- Zhu, L., Zhang, H., & Liu, S. (2024). Oxidative stress in rice under abiotic stresses. *Frontiers in Plant Science*, 15, 237. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.128723>
- Zörb, C., Geilfus, C.-M., & Dietz, K.-J. (2022). Salinity and crop yield. *Plant Biology*, 24(2), 147–156. <https://doi.org/10.1111/plb.13364>