

Biosalin 1 dan Mekanisme Bertahan di Lahan Terintrusi Air Laut: Studi Kasus di Demak, Jawa Tengah

Rina Kartikawati dan Sarah

Balai Perakitan dan Pengujian Lingkungan Pertanian

Jalan raya Jakenan-Jaken, km 05, Jaken, Pati, Jawa Tengah

Email: rina.kartikawati206@gmail.com

ABSTRAK

Intrusi air laut pada lahan sawah pesisir meningkatkan salinitas tanah dan berpotensi menurunkan produktivitas padi, terutama pada fase pertumbuhan yang sensitif terhadap cekaman garam. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kemampuan adaptasi padi varietas Biosalin 1 pada lahan sawah terintrusi air laut di pesisir utara Kabupaten Demak, Jawa Tengah. Pengujian dilakukan selama satu musim tanam pada tanah yang dipengaruhi sedimen laut dengan dinamika daya hantar listrik (DHL) berkisar 2,11–3,11 dS m⁻¹. Hasil menunjukkan bahwa Biosalin 1 mampu mempertahankan pertumbuhan dan hasil pada kondisi salinitas sedang dengan produktivitas 4,20 t ha⁻¹ dan persentase gabah isi 69,09%. Adaptasi varietas ini tercermin melalui kombinasi mekanisme fenologis dan fisiologis, terutama percepatan umur berbunga sekitar 71 hari setelah tanam (HST), serta kandungan prolin yang relatif tinggi (903,68 µg g⁻¹) dibandingkan varietas pembanding. Rasio akar terhadap tajuk yang lebih besar juga mengindikasikan peran sistem perakaran dalam mendukung keseimbangan ion pada kondisi salin. Selain itu, emisi metana yang terukur sebesar 31,94 kg ha⁻¹ musim⁻¹ tergolong rendah dibandingkan kisaran pada sawah non-salin. Temuan ini menunjukkan bahwa Biosalin 1 memiliki potensi adaptif pada lahan salin pesisir secara spesifik lokasi, meskipun diperlukan pengujian lanjutan pada berbagai tingkat salinitas dan musim tanam untuk memperkuat generalisasi hasil.

PENDAHULUAN

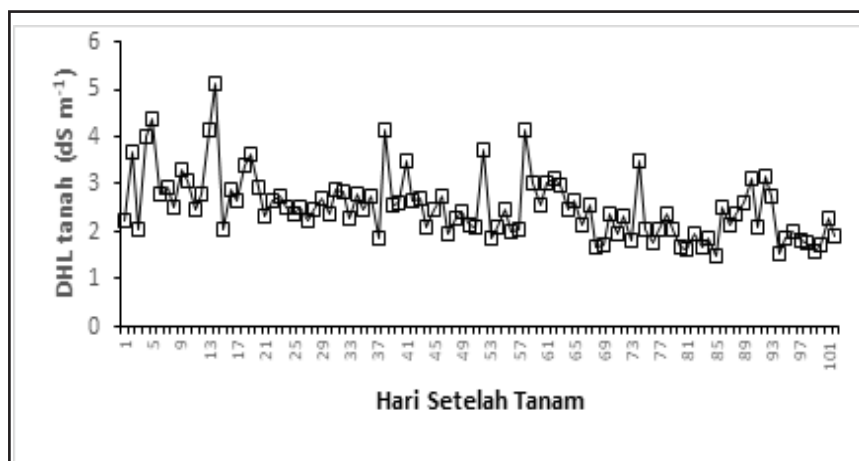
Padi merupakan komoditas tanaman pangan utama yang memiliki cakupan budi daya sangat luas sehingga dapat ditanam pada berbagai kondisi agroekologi, mulai dari dataran rendah hingga ketinggian sekitar 0–650 mdpl. Produktivitas padi sangat dipengaruhi oleh interaksi antara faktor genetik tanaman dan kondisi lingkungan tumbuh. Apabila salah satu faktor tersebut tidak terpenuhi atau mengalami pembatasan, maka pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi akan terganggu yang pada akhirnya berdampak pada penurunan hasil.

Meskipun memiliki adaptasi habitat yang relatif luas, padi

tergolong sebagai tanaman budi daya yang sensitif terhadap cekaman salinitas. Menurut Chang *et al.* (2019), dampak cekaman garam pada tanaman padi umumnya tidak langsung terlihat pada tahap awal paparan. Namun, seiring meningkatnya durasi dan intensitas cekaman, terjadi penurunan pertumbuhan batang dan akar, percepatan penuaan daun, serta penurunan kapasitas fotosintesis yang berujung pada menurunnya produktivitas tanaman. Kondisi ini menjadikan pengembangan dan pemanfaatan varietas padi yang toleran terhadap salinitas sebagai salah satu strategi penting dalam menjaga keberlanjutan produksi padi pada wilayah pesisir yang rentan terhadap intrusi air laut.

Dalam sistem budi daya padi di lahan salin, pemilihan varietas unggul yang adaptif menjadi komponen teknologi kunci untuk menjaga stabilitas produksi. Salah satu upaya yang dikembangkan adalah perakitan varietas padi toleran salinitas, seperti Biosalin 1. Pengujian varietas ini dilakukan selama satu musim tanam pada sawah pesisir terintrusi air laut di pantai utara Demak, Jawa Tengah, yang memiliki karakteristik tanah dipengaruhi oleh endapan sedimen laut dengan tingkat salinitas yang berfluktuasi sepanjang periode pertumbuhan tanaman.

Kebaruan pengujian ini terletak pada pengkajian adaptasi Biosalin 1 pada kondisi lapangan nyata melalui pendekatan terpadu yang mencakup



Gambar 1. Dinamika Daya Hantar Listrik (DHL) Lahan Sawah Salin di Pesisir Utara Demak, Jawa Tengah

respon agronomis, fisiologis, serta emisi metana sebagai indikator dampak lingkungan, sehingga menegaskan peran varietas toleran salinitas dalam menjaga stabilitas produksi padi sekaligus mendukung sistem budi daya yang berkelanjutan dan rendah emisi.

PEMBAHASAN

Biosalin 1 merupakan varietas padi yang dirakit khusus untuk beradaptasi pada kondisi cekaman salinitas. Varietas ini menunjukkan tingkat toleransi yang baik terhadap cekaman salinitas pada fase bibit dengan skor toleransi 3,33. Pengujian Biosalin 1 dilakukan di lahan salin wilayah pesisir pantai utara Demak (Jawa Tengah) dengan tipe tanah yang dipengaruhi oleh endapan sedimen laut (*marine sediment*).

Sistem pengairan lahan pesisir pantai utara khususnya Kabupaten Demak, tergantung dari distribusi air irigasi kanal utama yang mengalir dari bendungan air tawar dan bermuara di laut utara. Sistem pengairan ini memungkinkan lahan sawah pesisir utara Demak mendapatkan air tawar pada musim penghujan sehingga berpengaruh pada DHL selama musim tanam. Fase awal tanam pindah merupakan fase kritis bagi pertumbuhan tanaman karena DHL tanah pada fase ini (1–20

HST) rata-rata sekitar 3,11 dS m⁻¹, sedangkan rata-rata salinitas air irigasi adalah 0,526 dS m⁻¹. Pada fase pertumbuhan berikutnya, yaitu anakan aktif, fase generatif dan pemasakan-menjelang panen, rata-rata DHL tanah menurun secara berturut-turut adalah 2,61; 2,54 dan 2,11 dS m⁻¹, sedangkan salinitas air irigasi adalah 0,524; 0,539 dan 0,280 dS m⁻¹ (Gambar 1). Budi daya padi di lahan pesisir pantai utara masih mengikuti budi daya padi secara umum di lahan normal dengan dosis aplikasi pupuk urea (100 kg ha⁻¹), SP (100 kg ha⁻¹), ZA (100 kg ha⁻¹), dan NPK (100 kg ha⁻¹). Pengairan yang diterapkan adalah tergenang terus-menerus yang bertujuan untuk mengurangi kadar salinitas tanah.

Biosalin 1 menunjukkan ketahanan terhadap salinitas kategori sedang pada kondisi spesifik lokasi penelitian yang tercermin dari stabilitas pertumbuhan dan hasil pada kisaran DHL tanah 2,11–3,11 dS m⁻¹. Hal ini sejalan dengan laporan Munns dan Tester (2008) yang menyatakan bahwa toleransi salinitas pada tanaman padi merupakan hasil interaksi kompleks antara karakter genetik dan dinamika lingkungan tumbuh.

Kemampuan Biosalin 1 untuk tetap tumbuh dan berproduksi pada lahan sawah pesisir terintrusi air laut tidak dapat dilepaskan dari mekanisme adaptif yang

dimilikinya. Secara umum, respons tanaman terhadap cekaman salinitas umumnya diklasifikasikan ke dalam tiga mekanisme utama, yaitu *escape* (meloloskan diri), *avoidance* (menghindar), dan *tolerance* (mempunyai ketahanan). Ketiga mekanisme ini tidak berdiri sendiri, melainkan saling melengkapi dalam membentuk ketahanan tanaman terhadap tekanan lingkungan.

Menurut Kooyers (2015), mekanisme *escape* dilakukan dengan mempercepat siklus hidup, mempercepat pembungaan, kadar nitrogen daun dan kapasitas fotosintesis tinggi. Mekanisme *avoidance* mencakup strategi penghindaran stres melalui efisiensi penggunaan air, pengaturan konduktansi stomata, peningkatan rasio akar terhadap tajuk, serta menurut Li dan Zhang (2008) adanya modifikasi arah pertumbuhan akar. Sementara itu, mekanisme *tolerance* melibatkan penyesuaian fisiologis seperti peningkatan osmoprotektan, penyesuaian osmotik, akumulasi gula, serta peningkatan prolin sebagai respons terhadap stres garam (Alhasnawi, 2019; El Moukhtari *et al.*, 2020).

Mekanisme *escape* pada varietas Biosalin 1 ditunjukkan oleh percepatan fase fenologis, yaitu pembungaan pada umur 71 HST dan panen pada umur 113 hari, lebih cepat dari deskripsi varietas. Percepatan pembungaan dan umur panen ini merupakan strategi adaptif tanaman untuk menghindari paparan cekaman salinitas pada fase pertumbuhan yang paling sensitif, khususnya fase reproduktif. Mekanisme *escape* ini berperan penting pada lahan salin yang memiliki fluktuasi kadar garam secara temporal, di mana konsentrasi garam cenderung meningkat seiring waktu akibat evaporasi tinggi atau intrusi air laut. Melalui percepatan siklus hidup, varietas Biosalin 1 mampu menyelesaikan fase vegetatif



Gambar 2. Pengujian Biosalin 1 di Lahan Salin Pesisir Utara Demak, Jawa Tengah

dan generatif lebih awal, sehingga pembungaan dan pengisian gabah berlangsung sebelum akumulasi salinitas mencapai tingkat kritis dan berpotensi menurunkan hasil. Pola percepatan pertumbuhan ini menunjukkan bentuk adaptasi tanaman terhadap perubahan salinitas selama musim tanam, bukan sekadar sifat varietas.

Mekanisme *avoidance* pada Biosalin 1 ditunjukkan oleh rasio biomassa akar terhadap tajuk yang lebih tinggi (0,16) dibandingkan Inpari 34 (0,11) dan Inpari 35 (0,14). Menurut Soliman *et al.* (2018), mekanisme *avoidance* terhadap cekaman salinitas melibatkan kemampuan tanaman untuk meminimalkan akumulasi ion Na^+ di sitosol sel (eksklusi Na^+) sehingga fungsi fisiologis tetap berlangsung relatif normal meskipun tanaman tumbuh pada lingkungan salin. Pada Biosalin 1, proporsi biomassa akar lebih besar dibanding tajuk dapat mengindikasikan bahwa kapasitas akar dalam menahan, menyerap atau mengembalikan Na^+ dari xilem meningkat dan akar berfungsi sebagai penyangga (*buffer*) terhadap ion toksik. Tajuk sebagai organ fotosintetik dan paling sensitif terhadap akumulasi garam memungkinkan mengalami paparan ion toksik lebih rendah.

Mekanisme pertahanan lain dari Biosalin 1 adalah dengan

pembentukan prolin, sebagai bentuk toleransi terhadap kondisi salinitas. Kandungan prolin dari Biosalin 1 sebesar $903,68 \mu\text{g g}^{-1}$, lebih tinggi baik dibandingkan dengan Inpari 34 ($556,53 \mu\text{g g}^{-1}$) maupun Inpari 35 ($898,50 \mu\text{g g}^{-1}$). Prolin berfungsi sebagai osmolit endogen yang berperan dalam menjaga keseimbangan osmotik sel, menstabilkan protein dan membran, serta mengurangi kerusakan oksidatif akibat stres salinitas (Koc *et al.*, 2024). Akumulasi prolin yang lebih tinggi menunjukkan adanya kapasitas penyesuaian fisiologis yang mendukung ketahanan tanaman pada kondisi kandungan Na tinggi.

Berdasarkan analisis *important value* variabel ketahanan, faktor yang paling berkontribusi terhadap adaptasi Biosalin 1 pada lahan salin pesisir utara Demak adalah mekanisme *escape* (umur berbunga) dan *tolerance* (kandungan prolin). Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan adaptasi Biosalin 1 tidak ditentukan oleh satu mekanisme tunggal, melainkan merupakan hasil interaksi antara strategi fenologis dan fisiologis yang bekerja secara simultan dalam merespons dinamika salinitas lingkungan. Dengan demikian, stabilitas pertumbuhan dan hasil pada kondisi salinitas sedang di lokasi penelitian dapat dipahami sebagai konsekuensi dari

integrasi kedua mekanisme tersebut.

Produktivitas Biosalin 1 yang ditanam di lokasi penelitian mencapai sekitar $4,20 \text{ t ha}^{-1}$, didukung oleh persentase gabah isi yang relatif tinggi sebesar 69,09%. Produktivitas ini lebih tinggi dibandingkan dengan varietas untuk lahan salin baik Inpari 34 ($2,94 \text{ t ha}^{-1}$) dan maupun Inpari 35 ($3,40 \text{ t ha}^{-1}$). Kemampuan mempertahankan pengisian gabah pada fase reproduktif memang diakui sebagai indikator kunci toleransi salinitas padi, karena salinitas pada tahap ini langsung menurunkan jumlah gabah terisi dan hasil akhir. Stres garam saat inisiasi malai-berbunga menyebabkan kemandulan spikelet, mengecilnya ukuran sink, dan penurunan tajam hasil gabah (Radanielson *et al.*, 2017; Moradi & Ismail, 2007; Walia *et al.*, 2006).

Biosalin 1 juga menghasilkan emisi metana yang tergolong rendah, yaitu $31,94 \text{ kg ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$. Sebagai pembanding hasil pengujian emisi metana di lahan tadah hujan non salin berkisar antara $168 - 285 \text{ kg ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$ (Kartikawati *et al.*, 2021). Rendahnya emisi metana Biosalin 1 di lahan sawah pesisir terintrusi air laut berkaitan dengan interaksi antara karakter fisiologis tanaman, salinitas tanah, dan proses biogeokimia tanah (Guan *et al.*, 2024; Rajendran *et al.*, 2024). Salinitas menekan aktivitas mikroorganisme metanogen (Fagodiya *et al.*, 2022), sementara umur genjah dan proporsi biomassa akar yang relatif tinggi pada Biosalin 1 berkontribusi mengurangi periode genangan dan meningkatkan oksigenasi rizosfer. Temuan ini menunjukkan adaptasi varietas terhadap cekaman salinitas tidak hanya menjaga stabilitas hasil, tetapi juga berperan dalam menurunkan emisi gas rumah kaca dari sistem budi daya padi pesisir.

Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa Biosalin 1 tidak hanya berkontribusi terhadap

ketahanan dan peningkatan produksi padi di lahan salin, tetapi juga berperan dalam upaya mitigasi emisi gas rumah kaca. Dengan demikian, varietas ini berpotensi menjadi pilihan yang sesuai dengan preferensi petani pesisir pantai sebagai varietas padi berdaya hasil cukup tinggi sekaligus ramah lingkungan.

Interpretasi data varietas Biosalin 1 dalam artikel ini difokuskan pada respons adaptif dan stabilitas pertumbuhan terhadap kondisi salinitas di lahan pesisir pantai utara Kabupaten Demak, Jawa Tengah. Pendekatan ini dipilih untuk memperoleh gambaran mendalam mengenai mekanisme ketahanan tanaman pada lingkungan terintrusi air laut dengan dinamika salinitas yang berfluktuasi selama musim tanam.

Pengujian ini dilaksanakan pada satu lokasi dan satu musim tanam, sehingga variasi spasial dan temporal belum sepenuhnya terakomodasi. Oleh karena itu, hasil pengujian ini lebih diarahkan sebagai kajian adaptasi spesifik lokasi, dan diperlukan kajian lanjutan dengan pada musim tanam yang berbeda untuk memperkuat generalisasi temuan.

PENUTUP

Padi varietas Biosalin 1 menunjukkan kemampuan adaptasi yang baik pada lahan sawah pesisir terintrusi air laut di pantai utara Kabupaten Demak melalui kombinasi mekanisme *escape*, *avoidance*, dan *tolerance*. Pada kondisi spesifik lokasi dan satu musim tanam, Biosalin 1 mampu mempertahankan produktivitas dan menghasilkan emisi metana yang relatif rendah. Hasil ini masih bersifat spesifik lokasi sehingga diperlukan pengujian lanjutan pada berbagai tingkat salinitas dan kondisi agroekosistem untuk memperkuat generalisasi temuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhasnawi, A. N.(2019). Role of proline in plant stress tolerance: A mini review. *Research on Crops*, 20(1): 223–229.
- Chang, J., Cheong, B. E., Natera, S., & Roessner, U.(2019). Morphological and metabolic responses to salt stress of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars which differ in salinity tolerance. In *Plant Physiology and Biochemistry*. Elsevier, 144 (November): 427-435
- El Moukhtari, A., Cabassa-Hourton, C., Farissi, M., & Savouré, A.(2020). How does proline treatment promote salt stress tolerance during crop plant development? *Frontiers in Plant Science*, 11(July), 1–16.
- Guan, S., Qi, Z., Li, S., Du, S., & Xu, D.(2024). Effects of Rice Root Development and Rhizosphere Soil on Methane Emission in Paddy Fields. *Plants*, 13, 1-19
- Fagodiya, R., Malyan, S., Singh, D., Kumar, A., Yadav, R., Sharma, P., & Pathak, H.(2022). Greenhouse Gas Emissions from Salt-Affected Soils: Mechanistic Understanding of Interplay Factors and Reclamation Approaches. *Sustainability*, 14(19): 1-25
- Kartikawati, R., Ariani, M., Wihardjaka, A., & Setyanto, D.(2021). Characteristic of Rice Variety for Low Greenhouse Gases (GHGs) Emission in Facing the Challenges of Climate Change and National Food Security. *Proceedings of PERIPI*, Bogor, Indonesia.
- Koc, Y. E., Ayca, M., & Mitsui, T.(2024). Self-defense mechanism in rice to salinity. *Proline. J*, 7(1), 103–115.
- Kooyers, N. J.(2015). The evolution of drought escape and avoidance in natural herbaceous populations. *Plant Science*, 234, 155–162.
- Li, X., & Zhang, W. S.(2008). Salt-avoidance tropism in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Signaling and Behavior*, 3(5), 351–353.
- Moradi, F., & Ismail, A.(2007). Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. *Annals of botany*, 99(6), 1161-73.
- Munns, R., & Tester, M.(2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual review of plant biology*, 59, 651-81.
- Rajendran, S., Park, H., Kim, J., Park, S., Shin, D., Lee, J., Song, Y., Paek, N., & Kim, C.(2024). Methane Emission from Rice Fields: Necessity for Molecular Approach for Mitigation. *Rice Science*, 31(2), 159-178.
- Radanielson, A., Angeles, O., Li, T., Ismail, A., & Gaydon, D.(2017). Describing the physiological responses of different rice genotypes to salt stress using sigmoid and piecewise linear functions. *Field Crops Research*, 220, 46-56.
- Soliman, W.S., Sugiyama, Shu-ichi and Abbas, A.M.(2018). Contribution of avoidance and tolerance strategies towards salinity stress resistance in eight C3 turfgrass species. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 59, 29–36.
- Walia, H., Wilson, C., Zeng, L., Ismail, A., Condamine, P., & Close, T.(2006). Genome-wide transcriptional analysis of salinity stressed japonica and indica rice genotypes during panicle initiation stage. *Plant Molecular Biology*, 63, 609-623.