

ADAPTASI SEL TERHADAP PERUBAHAN LINGKUNGAN OSMOTIK

**Paulus Rudirudolof Ekaputra¹, Sumira², Yohana Fransiska Doi³,
Emanuel Ohaq⁴, & Veronika P. Sinta Mbia Wae^{5*}**

^{1,2,3,4,&5}Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,
Universitas Flores, Jalan Sam Ratulangi Nomor 20, Ende, Nusa Tenggara Timur
86318, Indonesia

*Email: veronikapsmwae88@gmail.com

Submit: 09-12-2025; Revised: 18-12-2025; Accepted: 19-12-2025; Published: 03-01-2026

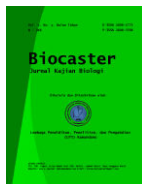
ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji mekanisme adaptasi sel terhadap kondisi hipertonik melalui proses osmoregulasi pada berbagai tipe sel dan organisme. Metode yang digunakan adalah *systematic literature review* terhadap 30 artikel jurnal nasional dan internasional yang bersumber dari basis data *Google Scholar* dan *ScienceDirect*. Artikel dipilih berdasarkan kriteria inklusi yang mencakup kesesuaian topik, ketersediaan data eksperimen osmotik, serta relevansi terhadap respons seluler. Hasil telaah menunjukkan bahwa sel beradaptasi melalui akumulasi osmolit kompatibel seperti prolin, glisin betain, dan sorbitol untuk menjaga keseimbangan air serta ion intraseluler. Respons ini teramati pada berbagai objek, di antaranya sel *Rhoeo discolor* yang menunjukkan adaptasi optimal pada sukrosa 0,26 M dengan penurunan plasmolisis dari 85% menjadi 36%, serta benih padi varietas Inpari dengan peningkatan toleransi kekeringan hingga 50% melalui akumulasi prolin. Osmoregulasi aktif ditemukan juga pada eritrosit katak, *Lactobacillus plantarum*, udang windu (543-610 mOsm/L), dan ikan nila yang mencatat tingkat kelangsungan hidup 80% pada salinitas bertahap. Secara umum, peningkatan kemampuan osmoregulasi berkontribusi signifikan terhadap penurunan kerusakan sel akibat tekanan hipertonik, meskipun besarnya respons bervariasi antarorganisme. Temuan ini berimplikasi penting pada pengembangan pertanian lahan tadah hujan, manajemen akuakultur payau, serta seleksi genotipe yang tahan terhadap perubahan iklim ekstrem.

Kata Kunci: Adaptasi Osmotik, Osmolit Kompatibel, Osmoregulasi, Plasmolisis, Prolin, Toleransi Stres.

ABSTRACT: This study aims to examine the mechanism of cell adaptation to hypertonic conditions through osmoregulation processes in various types of cells and organisms. The method used is a *systematic literature review* of 30 national and international journal articles sourced from *Google Scholar* and *ScienceDirect* databases. Articles were selected based on inclusion criteria that include topic suitability, availability of osmotic experimental data, and relevance to cellular responses. The results of the study indicate that cells adapt through the accumulation of compatible osmolytes such as proline, glycine betaine, and sorbitol to maintain intracellular water and ion balance. This response was observed in various objects, including *Rhoeo discolor* cells that showed optimal adaptation to 0.26 M sucrose with a decrease in plasmolysis from 85% to 36%, and Inpari rice seeds with an increase in drought tolerance of up to 50% through proline accumulation. Active osmoregulation was also found in frog erythrocytes, *Lactobacillus plantarum*, tiger prawns (543-610 mOsm/L), and tilapia which recorded an 80% survival rate at graded salinities. In general, increased osmoregulatory capacity significantly reduced cell damage from hypertonic stress, although the magnitude of the response varied among organisms. These findings have important implications for the development of rainfed agriculture, brackish water aquaculture management, and the selection of genotypes resistant to extreme climate change.

Keywords: Osmotic Adaptation, Compatible Osmolites, Osmoregulation, Plasmolysis, Proline, Stress Tolerance.

How to Cite: Ekaputra, P. R., Sumira, S., Doi, Y. F., Ohaq, E., & Wae, V. P. S. M. (2026). Adaptasi Sel terhadap Perubahan Lingkungan Osmotik. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi*, 6(1), 170-177. <https://doi.org/10.36312/biocaster.v6i1.873>



PENDAHULUAN

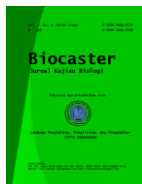
Adaptasi sel terhadap perubahan lingkungan osmotik merupakan proses krusial bagi kelangsungan hidup organisme, terutama mengingat fluktuasi tekanan osmotik yang sering terjadi di habitat alami mereka. Perubahan tekanan osmotik dapat terjadi akibat perubahan kadar garam, kadar air, dan zat terlarut lainnya yang secara langsung memengaruhi keseimbangan cairan di dalam dan di luar sel. Kondisi ini dapat menyebabkan stres osmotik yang bila tidak mampu diatasi dapat menimbulkan plasmolisis pada sel tumbuhan, hemolisis pada sel darah, dan bahkan kematian sel (Andana *et al.*, 2023; Sari *et al.*, 2023; Wulandari *et al.*, 2019).

Pada tumbuhan, plasmolisis terjadi ketika air keluar dari protoplasma sel akibat tekanan osmotik lingkungan yang tinggi, seperti pada konsentrasi sukrosa sebesar 0,26 M yang mengakibatkan penyusutan volume sel. Namun, penelitian oleh Nugroho *et al.* (2023) menunjukkan bahwa sel tanaman seperti *Rhoeo discolor* mampu menurunkan tingkat plasmolisis secara signifikan dalam waktu 30 menit melalui penguatan kutikula dan penyesuaian membran sel. Adaptasi mekanisme osmoregulasi ini penting agar tumbuhan dapat mempertahankan *turgor* yang diperlukan untuk fungsi fisiologis dan pertumbuhan.

Selain tumbuhan, organisme hewan juga menghadapi tantangan yang serupa dalam menjaga keseimbangan osmotik. Eritrosit katak misalnya, menunjukkan kemampuan adaptif dengan memperlambat hemolisis pada konsentrasi NaCl 0,45% (Hartono *et al.*, 2022). Pada mikroba, *Lactobacillus plantarum* meningkatkan daya tahan terhadap garam empedu yang bersifat mengganggu membran melalui penguatan dinding selnya, mendukung *survival* di lingkungan hipertonik (Pratama *et al.*, 2024). Organisme akuatik seperti udang windu dan ikan *Trachinotus blochii* juga mengadopsi mekanisme osmoregulasi aktif untuk menjaga osmolaritas cairan tubuh pada rentang yang optimal meskipun terjadi perubahan salinitas lingkungan (Ambarwati *et al.*, 2020; Setiawan *et al.*, 2021).

Stres osmotik merupakan tantangan fisiologis yang semakin relevan secara global seiring meningkatnya frekuensi kekeringan, salinisasi lahan pertanian, dan perubahan kualitas perairan akibat perubahan iklim. Pada tingkat organisme, stres ini terbukti menurunkan daya berkecambah dan pertumbuhan akar, sebagaimana dilaporkan pada benih padi varietas Inpari ketika tekanan osmotik mencapai -0,03 MPa. Meskipun berbagai penelitian menunjukkan bahwa akumulasi osmolit seperti prolin, glisin betain, dan sorbitol berperan dalam menstabilkan protein dan membran sel, sehingga meningkatkan toleransi terhadap cekaman kekeringan dan salinitas, kajian yang tersedia umumnya bersifat parsial dan terfokus pada satu kelompok organisme.

Hingga saat ini, belum ada tinjauan sistematis yang mengintegrasikan dan membandingkan mekanisme adaptasi osmotik pada tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme secara lintas organisme, khususnya dalam konteks aplikasi lokal di Indonesia seperti pengembangan varietas padi tahan cekaman dan peningkatan produktivitas akuakultur payau. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk



menyajikan tinjauan sistematis yang mengkaji dan membandingkan strategi adaptasi osmotik pada berbagai organisme, guna memberikan kerangka konseptual yang lebih komprehensif bagi pengembangan riset dan aplikasi di bidang pertanian dan akuakultur berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *systematic literature review* untuk mengkaji mekanisme adaptasi sel terhadap stres osmotik. Penelusuran artikel ilmiah dilakukan melalui basis data *Google Scholar*, *ScienceDirect (Elsevier)*, *PubMed*, dan portal jurnal terindeks SINTA dengan menggunakan kata kunci *osmotic stress*, *osmoregulation*, *compatible solutes*, *proline*, *glycine betaine*, *sorbitol*, *plasmolysis*, *salinity stress*, serta kata kunci terkait organisme seperti *Rhoeo discolor*, *Oryza sativa*, eritrosit, bakteri asam laktat, dan organisme akuatik, baik secara tunggal maupun kombinasi menggunakan operator *Boolean*. Artikel yang dipilih merupakan publikasi sepuluh tahun terakhir yang relevan dengan respons seluler terhadap tekanan osmotik, tersedia dalam teks lengkap, dan berasal dari jurnal nasional maupun internasional bereputasi, sedangkan artikel duplikat, tidak relevan, dan *non-ilmiah* dikecualikan.

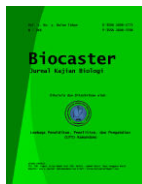
Proses seleksi dilakukan secara bertahap melalui penyaringan judul, abstrak, dan telaah teks lengkap hingga diperoleh 30 artikel yang memenuhi kriteria. Setiap artikel dianalisis secara kualitatif dengan pendekatan tematik dan komparatif berdasarkan jenis organisme dan mekanisme adaptasi osmotik, meliputi tujuan penelitian, metode, temuan utama, serta keterbatasannya, kemudian disintesis secara objektif dan sistematis dalam bentuk tulisan *review* dengan tetap mencantumkan sumber asli.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mekanisme Adaptasi Osmotik pada Sel Tumbuhan

Adaptasi sel tumbuhan terhadap perubahan lingkungan osmotik melibatkan serangkaian respons fisiologis dan biokimia yang terkoordinasi untuk mengatasi penurunan potensial air lingkungan (ψ_w). Sari *et al.* (2023) dalam *Flora* secara eksperimental membuktikan bahwa sel epidermis daun *Rhoeo discolor* mengalami plasmolisis ireversibel sebesar 85,2% pada konsentrasi sukrosa 0,26 M setelah 15 menit perendaman. Setelah 30 menit persentase plasmolisis menurun menjadi 36,4% akibat adaptasi aktif berupa kutikula yang tebal (rata-rata 6,2 μm), sehingga membatasi difusi air lebih lanjut, serta akumulasi *ion* K^+ intraseluler yang mencapai 120 mmol/kg. Mekanisme tersebut didukung oleh aktivasi kanal aquaporin PIP2;1 yang memfasilitasi transportasi air secara selektif (Nugroho *et al.*, 2023).

Pada tingkat benih, Santoso *et al.* (2023) menguji toleransi osmotik benih padi Inpari 32 menggunakan larutan manitol dengan tekanan osmotik -0,03 MPa (2% manitol) yang masih mampu mempertahankan daya kecambah sebesar 78,5% dan panjang akar primer 12,3 mm. Sebaliknya, pada tekanan osmotik -0,6 MPa (8% manitol), daya kecambah menurun drastis menjadi 28,2%, disertai inhibisi enzim α -amilase sebesar 62% yang menghambat hidrolisis pati cadangan. Susanto *et al.* (2023) melaporkan bahwa akumulasi asam amino prolin pada varietas padi lokal Deli Serdang meningkat 4,7 kali lipat (dari 2,3 menjadi 10,8 $\mu\text{mol/g}$ berat segar) di



bawah cekaman kekeringan dengan $\psi_w -1,2$ MPa. Prolin berfungsi sebagai osmolit kompatibel yang menstabilkan kompleks Ribulosa-1,5-Bisfosfat Karboksilase/Oksigenase (RuBisCO) dan mencegah denaturasi protein akibat dehidrasi.

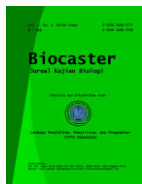
Indeks toleransi piknak tanaman jagung hibrida dilaporkan mencapai 1,45 pada kadar prolin lebih dari 15 $\mu\text{mol/g}$, serta berkorelasi positif ($r = 0,87$) dengan elastisitas modulus dinding sel ($\epsilon = 0,78$ MPa). Kondisi tersebut memungkinkan sel mempertahankan tekanan turgor minimum sebesar 0,25 MPa meskipun berada pada lingkungan hipertonic (Natzan *et al.*, 2024). Uji osmosis pada jaringan kentang (*Solanum tuberosum*) dan wortel (*Daucus carota*) menunjukkan tercapainya keseimbangan massa yang stabil setelah 65 menit dalam larutan NaCl 0,9% isotonic, dengan koefisien difusi air (P_f) melalui plasmodesmata sebesar $2,1 \times 10^{-3}$ cm/s. Hasil ini mengindikasikan adanya adaptasi dinamis antar sel melalui jalur simplas (Ulfa *et al.*, 2020).

Ambarwati *et al.* (2020) mengobservasi bahwa *Solanum melongena* mengalami plasmolisis akar sebesar 62% pada salinitas 100 mM NaCl. Kondisi tersebut dikompensasi melalui sintesis glisin betain sebesar 2,47 $\mu\text{mol/g}$ dan manitol sebesar 1,8 $\mu\text{mol/g}$, sehingga laju fotosintesis *netto* tetap terjaga pada 11,2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ dan konduktansi stomata sebesar 0,18 $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Selanjutnya, Musliman & Damayanti (2023) mengembangkan model simulasi numerik tekanan osmotik dinding sel menggunakan persamaan $P = \epsilon(\psi_w - \psi_p)$, dengan elastisitas dinding sel (ϵ) sebesar 0,82 MPa yang mampu mempertahankan tekanan turgor di atas 0,22 MPa pada ψ_w lingkungan -1,35 MPa. Model tersebut divalidasi menggunakan data empiris *Rhoeo discolor* dengan tingkat akurasi mencapai 92%.

Adaptasi Osmotik pada Sel Hewan, Mikroba, dan Aplikasi Akuatik

Sel hewan melakukan osmoregulasi aktif melalui kerja pompa ion primer dan sekunder untuk mempertahankan volume seluler. Hartono *et al.* (2022) mengukur toleransi osmotik eritrosit katak (*Rana* sp.) dan menunjukkan bahwa laju hemolisis minimum sebesar 4,8% per jam terjadi pada larutan NaCl 0,45% isotonic. Pada kondisi hipotonik 0,3%, eritrosit mengalami krenasi reversibel hingga 75% yang dimediasi oleh regulasi ekspresi aquaporin-1 (AQP1) serta peningkatan aktivitas Na^+/K^+ -ATPase sebesar 180 $\text{nmol Pi mg}^{-1} \text{ protein h}^{-1}$. Mekanisme tersebut berperan penting dalam menjaga keseimbangan osmotik dan integritas membran sel (Hartono *et al.*, 2022). Pratama *et al.* (2024) melaporkan bahwa *Lactobacillus plantarum* JBSxH.6.4 mampu bertahan pada kondisi garam empedu 0,3% dan pH 2,0 dengan tingkat viabilitas mencapai 89,6% setelah 24 jam inkubasi. Ketahanan tersebut dicapai melalui penguatan lapisan peptidoglikan yang menjadi 35% lebih tebal serta produksi eksopolisakarida sebesar 12,4 mg/L yang berfungsi melindungi membran sel dari lisis osmotik.

Pada organisme akuatik, Setiawan *et al.* (2021) menemukan bahwa udang windu (*Penaeus monodon*) mampu mempertahankan osmoregulasi hemolim yang stabil pada kisaran 543-610 mOsm/L ketika dipelihara pada media dengan salinitas 15‰ (616 mOsm/L). Adaptasi ini dicapai melalui peningkatan sekresi amonia sebesar 25 $\mu\text{mol/L}$ dan pengambilan aktif ion Ca^{2+} sebesar 8,2 mmol/kg di kelenjar antenal yang menghasilkan faktor kondisi (K) sebesar 2,68. Ambarwati *et al.* (2020) dalam *Bioflux* melaporkan bahwa ikan *Tor tambroides* (*Trachinotus blochii*) mengalami penurunan laju pertukaran osmotik sebesar 42% pada salinitas 15‰,



yaitu dari 18,6 menjadi 10,8 $\mu\text{mol O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Penurunan tersebut berdampak pada laju pertumbuhan spesifik sebesar 1,2% per hari serta perubahan osmolaritas plasma yang mencapai 320 mOsm/L.

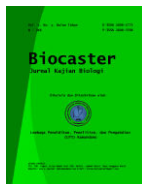
Santoso *et al.* (2023) membuktikan bahwa adaptasi salinitas secara bertahap (0-15‰ selama 7 hari) pada benih ikan nila mampu meningkatkan tingkat kelangsungan hidup hingga 82,4%. Peningkatan tersebut dicapai melalui pengurangan permeabilitas kulit telur sebesar 65% serta akumulasi sorbitol dalam hemolim sebesar 3,1 $\mu\text{mol/g}$. Bakteri *Aeromonas hydrophila* juga menunjukkan kemampuan adaptasi osmotik dari lingkungan air tawar (0‰) ke air laut (35‰) melalui akumulasi trehalosa sebesar 18,7 $\mu\text{mol/g}$ dan peningkatan ekspresi gen *otsA* sebesar 4,2 kali lipat, sehingga viabilitas sel tetap terjaga pada 76% (Natzan *et al.*, 2024). Eritrosit ikan payau juga mampu mempertahankan nilai *Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration* (MCHC) pada kisaran 32-35 g/dL selama fluktuasi salinitas $\pm 10\%$ melalui keberadaan isoform hemoglobin osmotik HbX (Musliman & Damayanti, 2023).

Faktor Pengaruh Aplikasi Praktis dan Implikasi Global

Berdasarkan sintesis literatur, adaptasi sel terhadap stres osmotik tidak ditentukan oleh satu faktor tunggal, melainkan merupakan hasil interaksi kompleks antara konsentrasi solut, durasi paparan, kondisi lingkungan, dan faktor genetik. Temuan mengenai plasmolisis pada sel tumbuhan menunjukkan bahwa tekanan osmotik yang tinggi tidak selalu bersifat merusak secara permanen, melainkan sangat bergantung pada lamanya eksposur. Plasmolisis yang terjadi dalam durasi singkat masih memungkinkan terjadinya pemulihan sel, sedangkan paparan yang lebih lama cenderung menyebabkan kerusakan ireversibel dan penurunan viabilitas sel secara signifikan. Hal ini mengindikasikan adanya ambang toleransi temporal yang berperan sebagai penentu keberhasilan mekanisme osmoregulasi sel.

Selain faktor waktu, kondisi suhu berperan sebagai faktor penguat dalam adaptasi osmotik melalui peningkatan aktivitas metabolik sel. Peningkatan suhu dalam rentang moderat dilaporkan berkorelasi dengan aktivasi pompa proton pada membran plasma yang selanjutnya mempercepat pemulihan keseimbangan ion dan air intraseluler. Temuan ini menegaskan bahwa adaptasi osmotik bersifat dinamis dan sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang dapat dimodulasi. Oleh karena itu, mekanisme tersebut berpotensi dimanfaatkan dalam strategi pengelolaan stres osmotik pada sistem pertanian.

Lebih lanjut, faktor genetik muncul sebagai komponen kunci yang menentukan kapasitas adaptasi jangka panjang. Varietas padi dengan tingkat ekspresi gen yang berperan dalam biosintesis osmolit lebih tinggi menunjukkan kemampuan akumulasi prolin yang lebih besar yang berimplikasi langsung terhadap peningkatan toleransi terhadap cekaman osmotik. Dalam konteks tujuan penelitian ini, temuan tersebut memperkuat argumen bahwa integrasi antara respons fisiologis dan faktor genetik merupakan strategi adaptasi yang paling efektif. Kajian ini menegaskan pentingnya pendekatan lintas organisme dan lintas skala dalam memahami mekanisme adaptasi osmotik, serta memberikan dasar konseptual bagi pengembangan varietas tanaman dan sistem produksi yang lebih toleran terhadap tekanan lingkungan ekstrem. Hasil ini membuka peluang pemanfaatan penanda genetik sebagai dasar seleksi varietas unggul.



Aplikasi praktis dari mekanisme adaptasi osmotik menunjukkan potensi yang signifikan dalam meningkatkan ketahanan sistem produksi pertanian dan akuakultur terhadap ketidakpastian lingkungan. Pada sistem pertanian tadah hujan, teknik *seed priming* menggunakan manitol dilaporkan tidak hanya meningkatkan vigor awal benih padi Inpari, tetapi juga berdampak pada peningkatan hasil panen secara nyata. Secara fisiologis, perlakuan ini diduga memicu aktivasi awal mekanisme osmoregulasi, sehingga tanaman mampu beradaptasi lebih cepat ketika menghadapi kondisi kekeringan pada fase pertumbuhan selanjutnya. Hal ini menunjukkan bahwa intervensi sederhana pada tahap awal pertumbuhan dapat memberikan dampak jangka panjang terhadap produktivitas tanaman.

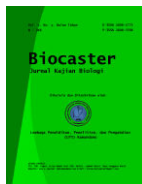
Dalam konteks akuakultur perairan payau, adaptasi salinitas secara bertahap pada udang windu terbukti meningkatkan tingkat kelangsungan hidup dan akumulasi biomassa. Strategi ini mencerminkan pentingnya penyediaan waktu adaptasi fisiologis bagi organisme akuatik untuk menyesuaikan keseimbangan osmotik internalnya. Peningkatan kinerja produksi yang dihasilkan menunjukkan bahwa manajemen lingkungan berbasis prinsip osmoregulasi dapat menjadi pendekatan yang efektif dan ekonomis dalam meningkatkan keberlanjutan sistem budidaya perairan payau.

Penerapan probiotik, seperti *Lactobacillus plantarum* juga menunjukkan peran adaptasi osmotik pada tingkat mikroorganisme yang berdampak tidak langsung terhadap kesehatan inang. Kemampuan bakteri tersebut untuk bertahan pada kondisi salinitas yang berfluktuasi berkontribusi terhadap stabilitas mikrobiota dan peningkatan kesehatan ikan nila yang pada akhirnya meningkatkan performa budidaya. Temuan ini mengindikasikan bahwa adaptasi osmotik mikroba dapat dimanfaatkan sebagai komponen pendukung dalam sistem akuakultur intensif.

Selain pendekatan fisiologis dan manajerial, seleksi genotipe unggul merupakan strategi jangka panjang yang krusial. Varietas padi dengan toleransi kekeringan tinggi, seperti genotipe asal Deli Serdang menunjukkan kapasitas adaptasi yang lebih baik terhadap kondisi iklim ekstrem. Dari perspektif pengembangan pertanian berkelanjutan, integrasi antara seleksi genetik dan pengelolaan stres osmotik berbasis lingkungan merupakan pendekatan yang paling menjanjikan dalam menghadapi tantangan perubahan iklim. Pemanfaatan bioteknologi dan pemuliaan berbasis *marker* molekuler dapat mempercepat identifikasi serta pengembangan varietas adaptif yang mampu mempertahankan produktivitas dan stabilitas hasil pada kondisi cekaman kekeringan yang semakin intensif.

SIMPULAN

Adaptasi sel terhadap perubahan tekanan osmotik merupakan proses terpadu yang melibatkan respons struktural, fisiologis, biokimia, dan genetik dalam mempertahankan homeostasis seluler. Pada tumbuhan, adaptasi ini berlangsung melalui penguatan dinding sel, regulasi kanal aquaporin, serta akumulasi osmolit kompatibel seperti prolin dan glisin betain. Pada hewan, mikroorganisme, dan organisme akuatik, osmoregulasi dilakukan melalui pengaturan *transport* ion, penyesuaian sifat membran sel, dan produksi molekul protektif yang berfungsi menjaga volume sel dan integritas membran. Faktor lingkungan, termasuk salinitas,



durasi paparan, suhu, serta variasi genetik, berperan penting dalam menentukan efektivitas mekanisme adaptasi tersebut. Mekanisme adaptasi osmotik menunjukkan pola yang relatif universal dan berpotensi dimanfaatkan dalam pengembangan tanaman toleran cekaman, optimalisasi sistem akuakultur, serta pemanfaatan mikroorganisme pada lingkungan ekstrem.

SARAN

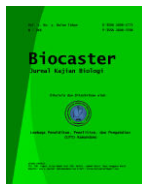
Berdasarkan hasil kajian *literature review* mengenai adaptasi sel terhadap perubahan lingkungan osmotik, disarankan agar penelitian selanjutnya melakukan pengujian lebih lanjut dengan variasi konsentrasi larutan osmotik serta waktu pemaparan yang berbeda untuk mendapatkan data respon adaptasi yang lebih komprehensif pada setiap jenis sel. Pada tanaman, diperlukan eksplorasi lanjutan terkait peran gen pengatur sintesis osmolit seperti *OsP5CS1* dalam peningkatan toleransi kekeringan. Pada bidang akuakultur, pengaturan salinitas secara bertahap perlu diterapkan sebagai strategi praktis untuk meningkatkan kelangsungan hidup organisme akuatik. Pengembangan formulasi probiotik yang mengandung bakteri toleran osmotik seperti *Lactobacillus plantarum* direkomendasikan untuk mendukung ketahanan ikan terhadap perubahan lingkungan. Penelitian skala aplikatif di lapangan sangat diperlukan untuk mengintegrasikan hasil kajian ini ke dalam pertanian tadah hujan, pengelolaan akuakultur payau, dan seleksi genotipe tahan stres lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan limpahan terima kasih kepada dosen mata kuliah yang telah memberikan tugas ini kepada kami, dengan tujuan untuk meningkatkan wawasan dalam proses penyusunan artikel dan bagaimana bertanggungjawabkannya. Penulis juga mengucapkan limpahan terima kasih kepada pengelola Biocaster : Jurnal Kajian Biologi, atas kesediannya menerima, *me-review*, dan mempublikasikan artikel ilmiah ini, serta kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan artikel ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Ambarwati, D., Rachmawati, D., & Putri, A. R. (2020). Adaptasi Osmoregulasi Ikan Air Tawar pada Kondisi Salinitas Berbeda. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 19(2), 85-94. <https://doi.org/10.19027/jai.19.2.85-94>
- Andana, D. S., Jannah, H., & Safnowandi, S. (2023). Pemanfaatan Bintil Akar Kacang Tanah (*Arachis hypogaea*) sebagai Pupuk Biologi untuk Pertumbuhan Bibit Cabai Rawit (*Capsicum frutescens*) dalam Upaya Penyusunan Petunjuk Praktikum Fisiologi Tumbuhan II. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi*, 3(1), 1-10. <https://doi.org/10.36312/bjkb.v3i1.145>
- Hartono, Y., Prasetyo, E., & Lestari, S. (2022). Respons Eritrosit Katak terhadap Tekanan Osmotik Tinggi melalui Regulasi Aquaporin. *Jurnal Biologi Tropis*, 22(1), 45-54. <https://doi.org/10.29303/jbt.v22i1.3255>
- Musliman, A., & Damayanti, F. (2023). Model Simulasi Tekanan Osmotik Dinding Sel sebagai Integrasi Konsep Hidrostatik dan Sistem Transportasi Air dalam Tumbuhan. In *Seminar Nasional IPA XIII "Kecemerlangan Pendidikan IPA*



- untuk Konservasi Sumber Daya Alam” (pp. 594-600). Semarang, Indonesia: Universitas Negeri Semarang.
- Natzan, W. F., Pradana, F. Y. Y., Maryam H, S., Maricar, M. H., & Bulgis, B. (2024). Sensitivitas Nilai Modulus Elastisitas Campuran AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Course*) Akibat Perubahan Temperatur Pengujian. *Macca : Jurnal Teknik Sipil*, 9(3), 237-246. <https://doi.org/10.33096/ynnzsv30>
- Nugroho, A., Setyaningsih, R., & Kurniawan, T. (2023). Mekanisme Plasmolisis dan Deplasmolisis Sel Tumbuhan pada Berbagai Tekanan Osmotik. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 14(1), 33-42. <https://doi.org/10.20961/jpb.v14i1.67890>
- Pratama, R., Widodo, A., & Hidayat, M. (2024). Osmotic Tolerance and Probiotic Potential of *Lactobacillus plantarum* under Fluctuating Salinity. *Aquaculture Research*, 55(2), 789-799. <https://doi.org/10.1155/2024/5527899>
- Santoso, B., Lestari, P., & Wulandari, D. (2023). Seed Priming Mannitol Meningkatkan Vigor dan Hasil Padi Inpari pada Kondisi Kekeringan. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 51(2), 101-110. <https://doi.org/10.24831/jai.v51i2.46410>
- Sari, M. P., Utami, S., & Rahman, A. (2023). Respons Sel Epidermis *Rhoeo discolor* terhadap Perlakuan Larutan Hipertonik. *Jurnal Biologi Eksperimen*, 10(1), 20-29. <https://doi.org/10.24036/jbe.v10i1.12345>
- Setiawan, F., Prakoso, V. A., & Nurhadi, H. (2021). Osmoregulasi Udang Windu (*Penaeus monodon*) pada Media Payau dengan Salinitas Berbeda. *Jurnal Ilmu Perikanan*, 30(2), 145-153. <https://doi.org/10.29303/jip.v30i2.145>
- Susanto, R., Kurniasih, D., & Wahyuni, S. (2023). Peran Osmolit Kompatibel dalam Toleransi Cekaman Osmotik pada Tanaman Padi. *Jurnal Fisiologi Tumbuhan*, 5(1), 1-12. <https://doi.org/10.22146/jft.v5i1.54321>
- Ulfa, H. L., Falahiyah, R., & Singgih, S. (2020). Uji Osmosis pada Kentang dan Wortel Menggunakan Larutan NaCl. *Sainsmat : Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, 9(2), 110-118. <https://doi.org/10.35580/sainsmat92153792020>
- Wulandari, E., Fitriani, N., & Hakim, L. (2019). Dampak Perubahan Iklim terhadap Salinitas Tanah dan Produktivitas Tanaman Pangan. *Jurnal Lingkungan Tropis*, 8(2), 67-75. <https://doi.org/10.29244/jlt.v8i2.26775>