

**FISIOLOGIS TANAMAN CABAI MERAH (*Capsicum annuum* L.)
TERHADAP CEKAMAN KEKERINGAN DI LAHAN PESISIR
(*Physiological Responses Of Red Chili Plants (*Capsicum annuum* L.) To Drought
Stress In Coastal Areas*)**

**Pringky Okta Saputra*, Ferdian Noor Widya Utomo, Pianto Ramadhan Prastio,
Sultan Imam Al-Fikri, Victorianus Chandra Suwandan, Sunandar Sunandar,
Mantegna Gordi Riviken, Fahrurrozi Fahrurrozi**

Program Magister Agroekoteknologi, Universitas Bengkulu, Jln. W.R. Supratman Bengkulu,
38121, Indonesia.

*Corresponding author, Email: frengkyoktasaputra@gmail.com

ABSTRACT

*Red chili pepper (*Capsicum annuum* L.) is a major horticultural crop with high economic importance and a vital role in meeting food demands. Its demand continues to increase alongside population growth, yet production is often limited by drought stress, particularly in coastal regions characterized by sandy soils, low water-holding capacity, and high salinity. This review aims to assess the physiological responses of red chili plants to drought stress in coastal environments and to identify adaptive mechanisms that enhance plant tolerance. Drought stress has been reported to decrease photosynthetic activity, chlorophyll concentration, and transpiration rate due to stomatal closure. Plants counteract water deficit by accumulating osmolytes such as proline and soluble sugars and by enhancing antioxidant enzyme activities, including superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD), to mitigate oxidative damage. Drought conditions also result in significant reductions in plant height, flower number, and fruit yield, reaching up to 51%. These adaptive mechanisms highlight the importance of developing drought-tolerant cultivars and applying water-efficient cultivation techniques, such as silver-black plastic mulch and drip irrigation, to sustain red chili productivity in drought-prone coastal regions.*

Keywords: *Photosynthesis, proline, stomatal conductance, water use efficiency, water stress*

ABSTRAK

Permintaan terhadap cabai merah terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan kebutuhan pasar yang semakin tinggi. Namun demikian, produktivitas cabai merah seringkali mengalami penurunan akibat cekaman kekeringan, terutama di wilayah pesisir yang umumnya memiliki karakteristik tanah berpasir, daya menahan air rendah, serta tingkat salinitas yang tinggi. Tulisan ini bertujuan untuk mengkaji respons fisiologis tanaman cabai merah terhadap cekaman kekeringan di lingkungan pesisir, serta mengidentifikasi mekanisme adaptasi yang berperan dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap kondisi tersebut. Berdasarkan berbagai hasil penelitian, cekaman kekeringan menyebabkan penurunan aktivitas fotosintesis, kandungan klorofil, dan laju transpirasi akibat penutupan stomata. Sebagai bentuk adaptasi, tanaman mengakumulasi osmolit seperti prolin dan gula terlarut, serta meningkatkan aktivitas enzim antioksidan, termasuk superoksida dismutase (SOD) dan peroksidase (POD), untuk menekan stres oksidatif. Pemilihan varietas toleran dan penerapan teknologi budidaya hemat air, seperti mulsa plastik hitam perak serta irigasi tetes, menjadi strategi penting untuk meningkatkan produktivitas cabai merah di lahan pesisir yang rentan terhadap kekeringan.

Kata kunci: Efisiensi air; fotosintesis; konduktansi stomata; prolin; stres kekeringan

PENDAHULUAN

Cabai merah (*Capsicum annuum* L.) merupakan komoditas hortikultura strategis yang dikonsumsi hampir seluruh masyarakat Indonesia. Selain sebagai bahan pangan utama, cabai mengandung vitamin C tinggi dan berfungsi meningkatkan cita rasa makanan (Rosmainar *et al.*, 2018). Komoditas ini bernilai ekonomi tinggi karena menjadi sumber pendapatan utama bagi petani, sekaligus menyerap tenaga kerja dalam jumlah besar pada tahap budidaya, panen, hingga distribusi. Fluktuasi harga cabai merah berdampak langsung terhadap kesejahteraan petani, daya beli konsumen, dan stabilitas inflasi pangan nasional, sehingga komoditas ini kerap menjadi perhatian pemerintah dalam upaya menjaga stabilitas ekonomi. Selain nilai ekonominya, cabai merah juga memiliki nilai sosial dan budaya yang kuat sebagai bagian dari identitas kuliner Nusantara serta bahan baku penting dalam industri pangan olahan.

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk serta berkembangnya industri pangan, permintaan cabai di Indonesia terus meningkat. Produksi cabai merah besar pada tahun 2023 tercatat sebesar 1.554.498 ton (BPS, 2024), namun kapasitas produksi tersebut belum sepenuhnya mampu memenuhi kebutuhan nasional secara berkelanjutan. Salah satu faktor utama penyebab rendahnya produktivitas cabai merah adalah kegagalan panen akibat kondisi lingkungan yang kurang mendukung, terutama cekaman kekeringan. Masalah ini menjadi semakin krusial di wilayah pesisir, yang secara alami rentan mengalami kekeringan musiman akibat penurunan ketersediaan air tanah selama musim kemarau. Kondisi tersebut berdampak

langsung pada penurunan pertumbuhan vegetatif, luas daun, laju fotosintesis, serta jumlah dan bobot buah.

Blessy *et al.* (2025) melaporkan bahwa cekaman kekeringan secara signifikan menurunkan tinggi tanaman, luas daun, dan biomassa cabai merah, meskipun terdapat variasi tingkat toleransi antar varietas. Hal ini menunjukkan bahwa respons tanaman terhadap defisit air sangat dipengaruhi oleh faktor genetik. Lv *et al.* (2024) mengemukakan bahwa *Capsicum annuum* L. sangat peka terhadap ketersediaan air, baik kelebihan maupun kekurangan. Ketidakseimbangan tekanan air memicu berbagai respon fisiologis yang berujung pada penurunan hasil produksi.

Kerentanan ini semakin nyata pada lahan pesisir yang bertekstur pasir dengan kapasitas menahan air rendah, sehingga tanaman lebih mudah mengalami cekaman kekeringan (Busscher *et al.*, 2009). Kondisi tersebut diperparah oleh tingginya salinitas tanah, laju evaporasi akibat suhu panas, serta distribusi curah hujan yang tidak merata sepanjang tahun. Kombinasi faktor-faktor ini menjadikan budidaya cabai merah di pesisir menghadapi tantangan serius dalam mempertahankan pertumbuhan optimal dan hasil panen stabil.

Defisit air akibat kekeringan menghambat pertumbuhan cabai merah, ditandai dengan ukuran tanaman dan daun yang lebih kecil, penurunan jumlah stomata, serta peningkatan kerapatan trikoma (Lestari *et al.*, 2024). Secara umum, pertumbuhan vegetatif dan generatif mengalami penurunan, meskipun pada beberapa kondisi bobot basah akar dan biomassa total justru meningkat sebagai respons adaptif tanaman (Blessy *et al.*, 2025). Kekeringan juga berdampak

negatif terhadap kualitas buah, karena keterbatasan air dapat menurunkan ukuran, bobot, serta kadar capsaicin pada buah cabai merah (Utari, 2022). Dengan demikian, cekaman kekeringan tidak hanya menurunkan kuantitas hasil panen, tetapi juga menurunkan kualitas produk yang dihasilkan.

Pada kondisi cekaman kekeringan, tanaman cabai merah mengembangkan mekanisme adaptasi fisiologis dan biokimia melalui pengaturan stomata untuk menekan transpirasi, akumulasi osmolit (prolin dan gula larut) guna mempertahankan turgor sel, serta aktivasi sistem antioksidan untuk mengurangi stres oksidatif (Wassie *et al.*, 2023). Penelitian oleh Sihotang *et al.* (2024) melaporkan bahwa cekaman kekeringan secara signifikan meningkatkan kadar prolin serta aktivitas enzim antioksidan, seperti superoksida dismutase (SOD), peroksidase (POD), dan katalase (CAT). Peningkatan aktivitas enzim-enzim tersebut merupakan bagian dari respons biokimia tanaman dalam mempertahankan integritas sel dan mengurangi dampak akumulasi spesies oksigen reaktif. Aplikasi sitokinin (6-benzylaminopurine) terbukti memperkuat respons biokimia tanaman cabai merah terhadap cekaman kekeringan sehingga meningkatkan toleransi tanaman terhadap defisit air. Respons tersebut didukung oleh adaptasi morfologis berupa pengembangan sistem perakaran yang lebih dalam, penebalan kutikula daun, serta pengurangan luas permukaan daun sebagai strategi efisiensi penggunaan air. Pemahaman mekanisme adaptasi fisiologis dan morfologis ini menjadi landasan penting dalam pengembangan teknologi budidaya cabai merah di lahan pesisir serta dalam program pemuliaan tanaman melalui identifikasi karakter morfo-fisiologis yang berasosiasi dengan toleransi

kekeringan (Wassie, Andualem, Molla, Tarekegn, Aragaw, *et al.*, 2023).

Sebagian besar penelitian mengenai cekaman kekeringan pada cabai merah masih dilakukan pada kondisi lahan non-pesisir atau hanya berfokus pada parameter pertumbuhan dan hasil. Informasi mengenai respons fisiologis cabai merah secara terintegrasi dengan karakter morfologis dan biokimia pada lingkungan pesisir masih relatif terbatas. Padahal, karakteristik lingkungan pesisir yang kompleks menuntut pendekatan kajian yang lebih komprehensif dan berbasis fisiologi tanaman. Keterbatasan informasi ini menjadi kendala dalam perumusan strategi budidaya dan pemuliaan yang adaptif terhadap kondisi lingkungan ekstrem.

Oleh karena itu, kajian mengenai respons fisiologis tanaman cabai merah terhadap cekaman kekeringan di lingkungan pesisir menjadi sangat relevan dan mendesak untuk dilakukan. Tulisan ini bertujuan untuk mengkaji respons fisiologis tanaman cabai merah terhadap cekaman kekeringan di lingkungan pesisir serta mengidentifikasi mekanisme adaptasi yang berperan dalam meningkatkan toleransi tanaman. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi budidaya dan program pemuliaan cabai merah yang adaptif, berkelanjutan, dan mampu menjaga stabilitas produksi di tengah tantangan perubahan lingkungan.

Karakteristik Lingkungan Pesisir dan Budidaya Cabai

Lingkungan pesisir merupakan wilayah peralihan antara darat dan laut yang memiliki karakteristik biofisik yang khas dan dinamis (Zhang *et al.*, 2023). Wilayah ini umumnya dicirikan oleh pola curah hujan

yang tidak menentu, suhu udara yang relatif tinggi, serta kelembapan yang fluktuatif, sehingga menyebabkan terjadinya defisit air pada musim kemarau yang membatasi ketersediaan air tanah bagi tanaman (Botutihe *et al.*, 2023). Kondisi tanah pada lahan pesisir umumnya didominasi oleh tekstur pasir dengan kemampuan menahan air dan unsur hara yang rendah, serta berpotensi mengalami peningkatan salinitas akibat intrusi air laut yang dapat menimbulkan tekanan osmotik tinggi pada zona perakaran (Corwin, 2021).

Secara agronomis, wilayah pesisir memiliki sejumlah keterbatasan yang berpengaruh terhadap produktivitas tanaman, di antaranya rendahnya ketersediaan air irigasi, kadar bahan organik tanah yang minim, serta laju evaporasi yang tinggi (Sarangi *et al.*, 2024). Kondisi tersebut menyebabkan keseimbangan air tanah sulit dipertahankan dan menurunkan efisiensi penggunaan air serta hara (Li *et al.*, 2023). Akumulasi kondisi fisik dan kimia yang tidak mendukung ini berpotensi menimbulkan cekaman abiotik berupa kekeringan dan salinitas, yang secara langsung memengaruhi fungsi fisiologis tanaman budidaya, termasuk cabai merah (X. Zhang *et al.*, 2024).

Lingkungan pesisir memberikan dampak kompleks terhadap pertumbuhan cabai merah. Menurut Zhu *et al.* (2025) salinitas dan keterbatasan air menimbulkan tekanan osmotik yang menghambat penyerapan air serta hara esensial seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Kondisi tersebut menurunkan aktivitas enzimatis, menghambat sintesis protein, dan menurunkan laju fotosintesis akibat berkurangnya kandungan klorofil daun. Selain itu, akumulasi ion Na^+ dan Cl^- pada jaringan tanaman menyebabkan

ketidakseimbangan nutrisi dan stres oksidatif yang merusak struktur sel serta membran kloroplas. Dampak fisiologis ini menghambat proses pembelahan dan pemanjangan sel, sehingga pertumbuhan vegetatif melambat dan produktivitas tanaman menurun, yang ditunjukkan oleh berkurangnya tinggi tanaman, luas daun, jumlah cabang produktif, dan hasil buah (Alharbi *et al.*, 2022)

Pada fase generatif, cekaman kekeringan menimbulkan gangguan fisiologis yang nyata, ditandai oleh penurunan pembentukan bunga, peningkatan aborsi bunga dan buah muda, serta pengecilan ukuran buah akibat berkurangnya suplai fotosintat ke organ reproduktif. Penurunan efisiensi fotosintetik terjadi karena terganggunya aktivitas enzim Rubisco dan penutupan stomata yang menghambat difusi CO_2 ke jaringan mesofil (Shahid *et al.*, 2020). Kondisi tersebut menurunkan akumulasi biomassa dan produktivitas total tanaman cabai secara signifikan (Mahmood *et al.*, 2021). Selain itu, gangguan metabolisme sekunder menghambat sintesis pigmen dan senyawa *capsaicinoid*, sehingga mutu hasil panen menurun, yang ditandai oleh warna buah kurang cerah, kadar air tinggi, serta rendahnya kandungan capsaicin dibandingkan tanaman pada kondisi nonpesisir (Zamljen *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2024).

Respon Fisiologis

Fotosintesis dan Transpirasi

Kadar klorofil varietas cabai merah menurun seiring dengan meningkatnya kekeringan (Budiyati *et al.*, 2023). Cekaman kekeringan memicu mekanisme pertahanan pada tanaman cabai, yang secara langsung memengaruhi stomata. Cekaman kekeringan

memicu penutupan stomata secara cepat untuk mengurangi kehilangan air melalui transpirasi (Agurla et al., 2018). Penutupan stomata ini, meskipun penting untuk konservasi air, menyebabkan CO₂ yang masuk berdampak penurunan efisiensi fotosintesis, yang pada akhirnya menghambat fotosintesis (Sihotang et al., 2024). Cekaman kekeringan secara signifikan berdampak pada pigmen fotosintesis dan aktivitas terkait. Kandungan klorofil total, klorofil a, dan klorofil b mengalami penurunan seiring dengan peningkatan cekaman kekeringan (Siaga et al., 2024). Penurunan klorofil berfungsi untuk meminimalkan penyerapan cahaya, yang pada gilirannya akan mengurangi transpor elektron dan pembentukan ROS, *reactive oxygen species* (Sihotang et al., 2024).

Fotosintesis dan transpirasi pada cabai merah sangat dipengaruhi oleh cekaman kekeringan, yang secara langsung berdampak pada efisiensi penggunaan air (*Water Use Efficiency*, WUE). Penurunan WUE terjadi akibat penurunan konduktansi stomata yang lebih besar (sekitar 50%) dibandingkan dengan penurunan laju fotosintesis (sekitar 40%). Penutupan stomata ini merupakan respons adaptif untuk mengurangi kehilangan air melalui transpirasi. Sebaliknya, nilai WUE yang tetap tinggi di bawah kondisi kekeringan menunjukkan kemampuan tanaman menggunakan air secara lebih efisien, sehingga menjadi indikator penting ketahanan terhadap cekaman kekeringan (Rosmaina et al., 2022).

Status Air dan Potensial Daun

Status hidrasi seluler tanaman, yang diukur melalui *Relative Water Content* (RWC) atau *Leaf Relative Water Content* (LRWC), merupakan indikator penting

keseimbangan air daun. Defisit air yang berlangsung terus-menerus menurunkan potensi air sel, menyebabkan keluarnya air dari protoplasma, dan menurunkan tekanan turgor (Siaga et al., 2024). Penurunan turgor ini menghambat fungsi fisiologis serta pertumbuhan tanaman. Respons adaptif seperti penutupan stomata, perlambatan pertumbuhan, dan peningkatan sintesis osmoprotektan (misalnya prolin) berperan dalam mempertahankan atau menstabilkan tekanan turgor selama cekaman kekeringan (Rosmainar et al., 2022).

Penyesuaian Osmotik dan Metabolit Kompatibel

Penurunan *Relative Water Content* (RWC) memicu penyesuaian osmotik untuk mempertahankan tekanan turgor melalui penurunan potensi osmotik sel. Senyawa prolin berperan sebagai osmoprotektan utama yang melindungi sel dari dehidrasi, terutama pada genotipe toleran seperti Kastilo dan *Balitsa Chili Agritama* (BCA). Akumulasi prolin yang tinggi membantu mengurangi kerusakan oksidatif, menjadi strategi penting ketahanan terhadap kekeringan (Budiyati et al., 2017). Selain itu, cekaman kekeringan meningkatkan kadar gula terlarut total yang berfungsi sebagai pengatur osmotik untuk menjaga keseimbangan air dan mencegah dehidrasi sel. Akumulasi prolin dan gula ini merupakan mekanisme adaptif utama tanaman dalam menyeimbangkan potensi air selama kekeringan (Iqbal et al., 2023).

Aktivitas Enzim dan Antioksidan

Cekaman kekeringan secara inheren memicu stres oksidatif di dalam sel tanaman, yang disebabkan oleh peningkatan produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS), seperti radikal superoksida (O₂⁻) dan hidrogen

peroksida (H_2O_2) (Khan et al., 2014). ROS dapat merusak membran seluler dan mengganggu fungsi fisiologis normal. *Superoxide Dismutase* (SOD) adalah enzim pertahanan pertama yang bertugas mengubah (dismutasi) *anion superoksida* (O_2^-) menjadi oksigen (O_2) dan hidrogen peroksida (H_2O_2). Dalam kondisi defisit air bertahap (*Gradual Water Deficit*), ekspresi gen SOD meningkat signifikan sebesar 2.632 kali lipat. Peningkatan aktivitas SOD secara keseluruhan teramati pada cabai seiring menurunnya kandungan air tanah (Sihotang et al., 2024). *Peroxidase* (POD) berperan penting dalam *detoksifikasi* H_2O_2 (produk dari aktivitas SOD) menjadi air. POD menggunakan (H_2O_2) dan berbagai senyawa reduktor, seperti fenol, untuk mengkatalisis reaksi yang mereduksi (H_2O_2) menjadi air yang tidak berbahaya. Dengan mengubah H_2O_2 menjadi air, POD membantu menjaga keseimbangan ROS dalam sel. Hal ini mencegah stres oksidatif dan melindungi komponen seluler, seperti membran dan DNA dari kerusakan (Rocha-Martin et al., 2014).

Toleransi kekeringan pada cabai sangat bergantung pada kemampuan tanaman untuk mempertahankan keseimbangan redoks seluler dengan mengimbangi produksi ROS yang tinggi. Peningkatan aktivitas SOD dan POD adalah respons adaptif yang krusial untuk menjaga keseimbangan ini. tanaman cabai yang toleran kekeringan menunjukkan kecenderungan untuk meningkatkan kandungan prolin dan pada saat yang sama mempertahankan kandungan total gula dan klorofil. Kemampuan untuk menggabungkan penyesuaian osmotik (Prolin) dengan mekanisme antioksidan yang kuat (SOD/POD) adalah faktor penentu utama keberhasilan tanaman cabai untuk bertahan

hidup di bawah kondisi air terbatas (Sihotang et al., 2024).

Keseimbangan Hormon Tumbuhan

Selama stres kekeringan, hormon tanaman memengaruhi metabolisme antioksidan, sintesis karbohidrat (metabolisme karbon), pergerakan stomata, dan penuaan daun. ABA terakumulasi pada daun dan menghambat penyerapan K dalam stomata, penutupan stomata mengurangi potensi air mereka dan menutupnya. ABA berfungsi sebagai pembawa pesan sinyal stres dari akar ke daun. Ketika kondisi kekeringan menyebabkan produksi ABA di akar, hormon ini diangkut ke daun untuk memicu respons penutupan stomata secara cepat (Khan et al., 2014).

Dalam menghadapi kekurangan air, pensinyalan sitokinin telah berkembang sebagai jaringan komunikasi antarsel yang krusial. Sitokinin seperti 6-*Benzylaminopurine*/BAP memediasi toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan dengan berinteraksi dengan fitohormon lain, termasuk *Abscisic Acid* (ABA) dan jalur regulasinya untuk memediasi respons stress (Rosmaina et al., 2022). Interaksi antara asam absisat (ABA) dan sitokinin sangat krusial untuk mengatur pertumbuhan dan respons pertahanan tanaman. Sitokinin meningkatkan ketahanan terhadap stres lingkungan dengan meningkatkan aktivitas enzim antioksidan untuk mengurangi kerusakan oksidatif dan menjaga pertumbuhan dengan menunda penuaan daun. Sementara itu, ABA cenderung menghambat pertumbuhan untuk meningkatkan toleransi stres, dan menekan pembukaan stomata, sedangkan sitokinin dapat mendorong pembukaan stomata (Rai et al., 2024).

Parameter Fisiologis dan Hasil Panen

Respons tanaman cabai terhadap cekaman kekeringan dapat diukur melalui parameter fisiologis dan biokimia, yang berkorelasi langsung dengan kemampuan tanaman untuk mempertahankan hasil panen. Tiga parameter kunci adalah Fotosintesis, Prolin, dan *Relative Water Content* (RWC). Parameter fisiologis berfungsi sebagai indikator stres kekeringan dan mekanisme adaptasi tanaman. Fotosintesis memiliki korelasi positif kuat dengan hasil panen. Cekaman kekeringan menyebabkan mekanisme pertahanan berupa penutupan atau penyempitan stomata untuk mengurangi kehilangan air melalui transpirasi. Penutupan stomata ini menghambat difusi CO₂ ke dalam daun, sehingga laju fotosintesis menurun drastis. Penurunan laju fotosintesis berarti produksi asimilat (energi dan bahan organik) untuk pembentukan dan pengisian buah terganggu, yang secara langsung menyebabkan penurunan bobot dan jumlah buah (hasil panen) (Mudhor *et al.*, 2022).

Kandungan prolin yang melimpah menjadi indikator toleransi cekaman kekeringan, karena prolin berfungsi sebagai penyimpan senyawa Nitrogen, osmoregulator, dan protektor enzim tertentu. Sel, jaringan atau tanaman yang tinggi kandungan prolin dianggap mempunyai sifat toleransi terhadap kekeringan yang lebih baik. Selain sebagai osmoregulator, prolin berperan penting dalam menjaga turgor sel dan pertumbuhan akar pada kondisi potensial osmotik rendah (Nurmalasari, 2018).

Kuantitas hasil panen memiliki hubungan positif dengan *Relative Water Content* (RWC) yang mencerminkan ketersediaan air dalam jaringan tanaman. Penurunan RWC menunjukkan tingkat

kekurangan air yang tinggi, yang menyebabkan berkurangnya tekanan sel, terhambatnya pertumbuhan, dan penutupan stomata sehingga menurunkan laju fotosintesis. Tanaman dengan nilai RWC lebih tinggi mampu mempertahankan kadar air dan aktivitas metabolik lebih baik selama kondisi kekeringan, sehingga berpotensi menghasilkan panen yang lebih tinggi (Armita, 2016).

Dampak Kekeringan terhadap Hasil Cabai Merah di Lahan Pesisir

Perbandingan hasil panen cabai merah antara kondisi normal dan kekeringan di wilayah pesisir merupakan skenario yang kompleks, karena cekaman kekeringan sering diperparah oleh salinitas tinggi akibat intrusi air laut atau karakteristik tanah berpasir. Pada kondisi normal dengan irigasi optimal (100% kapasitas lapang), tanaman cabai merah umumnya menunjukkan pertumbuhan vegetatif dan generatif yang baik, menghasilkan produksi yang mendekati potensi hasil maksimum. Sebaliknya, pada kondisi kekeringan, kombinasi defisit air dan salinitas menyebabkan gangguan fisiologis, penurunan pembentukan buah, dan penurunan hasil panen yang signifikan dibandingkan kondisi normal (Rahman *et al.*, 2024).

Di banyak wilayah pesisir, musim kemarau (kekeringan) bertepatan dengan peningkatan risiko cekaman salinitas (kadar garam tinggi) akibat minimnya curah hujan dan naiknya air laut. Kombinasi kedua cekaman ini memberikan dampak terburuk pada hasil panen cabai. Cekaman salinitas (yang sering terjadi di pesisir) dapat menyebabkan penurunan hasil panen (bobot buah) yang sangat tinggi. Cekaman osmotik dari kekeringan dan salinitas menyebabkan

tanaman kesulitan menyerap air dan menghambat pembelahan serta pembesaran sel (Badi'ah *et al.*, 2021). Penurunan hasil ini diperparah di lahan pesisir karena tanah berpasir memiliki daya ikat air yang rendah, mempercepat hilangnya air dan menyebabkan tanaman cabai lebih cepat menderita stres air ekstrem (Perdana *et al.*, 2021).

Secara fisiologis, tanaman cabai merah di lahan pesisir mengalami ketidakseimbangan ionik akibat akumulasi Na^+ dan Cl^- pada jaringan akar dan daun, yang memicu toksisitas seluler serta kerusakan membran plasma (Penella *et al.*, 2015). Sebagai respons adaptif, tanaman meningkatkan sintesis osmolit seperti prolin, glisin betain, dan gula terlarut untuk mempertahankan potensi air sel dan stabilitas enzim (Jin *et al.*, 2024). Namun, efektivitas mekanisme ini bergantung pada genotipe dan tingkat keparahan cekaman. Oleh karena itu, diperlukan penerapan teknologi budidaya adaptif, seperti penggunaan mulsa organik, irigasi tetes, dan varietas toleran salinitas maupun kekeringan, guna meminimalkan dampak lingkungan pesisir terhadap pertumbuhan dan hasil cabai merah serta mendukung keberlanjutan produksi pertanian (Da Silva Sá *et al.*, 2019)

Pertumbuhan dan Produktivitas Cabai Merah

Cekaman kekeringan merupakan faktor abiotik utama yang membatasi hasil tanaman cabai merah di seluruh dunia. Kurangnya air menyebabkan sel tanaman kehilangan tekanan turgor, yang berdampak bertahap pada fungsi metabolisme, pertumbuhan, dan akhirnya mengurangi produksi. Tanaman cabai bereaksi terhadap kondisi kekeringan melalui tiga mekanisme, yaitu penghindaran, toleransi, dan pemulihan (Roziqoh *et al.*, 2023). Kekurangan air, atau stres kekeringan,

terutama ketika mencapai di bawah 50% kapasitas lapang (KKL), secara besar-besaran menghambat pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman cabai. Kekeringan mengganggu proses metabolisme dalam tanaman, menyebabkan stomata tertutup, dan menghambat penyerapan nutrisi, yang semuanya berdampak pada penurunan hasil panen, bahkan bisa menyebabkan gagal panen (Colak, 2021).

Pembentukan bunga, jumlah buah, dan bobot buah segar.

Cekaman kekeringan dapat secara fundamental mengganggu proses reproduksi tanaman, dimulai dari tahap inisiasi bunga. Keterlambatan pembungaan dan daya tahan serbuk sari dan kurangnya air secara berat bisa membuat pembungaan terlambat dan mengganggu pembentukan organ reproduksi tanaman. Pada masa ini, tekanan kekurangan air mengacaukan proses pembentukan serbuk sari yang sangat penting, sehingga menyebabkan penurunan drastis daya tahan serbuk sari. Serbuk sari yang tidak bisa bertahan tidak dapat menyilangkan sel telur, yang menjadi penyebab utama kegagalan pembentukan buah (Utaminingsih *et al.*, 2019). Cekaman kekeringan meningkatkan konsentrasi hormon stress, terutama Asam Absisat (ABA) dan etilen. Peningkatan ini memicu pembentukan lapisan absisi pada pangkal tangkai bunga akibatnya, terjadi kerontokan bunga dan bakal buah yang massif. Ini Adalah mekanisme pertahanan tanaman untuk membuang beban reproduksi yang tidak mungkin berhasil dalam kondisi kekurangan air (Roziqoh *et al.*, 2023).

Penurunan jumlah buah per tanaman terjadi karena gagalnya proses di tahap pembungaan. Kegagalan fruit set merupakan karena rendahnya viabilitas polen dan

kerontokan bunga yang tinggi, presentase keberhasilan pembentukan buah dari bunga yang ada menurun tajam. Tanaman tidak mampu mempertahankan beban buah yang berat jika pasokan asimilat dan air dari sumber terbatas. Beberapa studi menunjukkan bahwa cekaman kekeringan dapat menguramngi jumlah buah pertanaman hingga antara 27 % sampai lebih dari 51 % pada genotip yang sensitive dibandingkan dengan kondisi irigasi normal. Penurunan ini secara langsung menentukan rendahnya hasil akhir (Lestari *et al.*, 2024).

Kekurangan air menyebabkan defisit turgor pada sel-sel perikarp, yaitu dinding buah. Ekspansi sel buah sangat bergantung pada tekanan turgor. Ketika turgor hilang, laju pembesaran buah berhenti, sehingga buah menjadi berukuran kecil dan ringan. Hal ini menjadi penyebab utama penurunan bobot segar buah (Ripoll *et al.*, 2014). Keterbatasan asimilat, karena kekeringan menyebabkan penutupan stomata, laju fotosintesis menurun. Pasokan karbohidrat (asimilat) yang dibutuhkan untuk mengisi buah (sebagai sink) menjadi terbatas. Buah yang terbentuk tidak bisa mengisi dirinya secara optimal, yang semakin memperparah penurunan bobot buah per unit (Utari dan Rachmawati, 2022). Kurangnya air menyebabkan defisit turgor pada sel-sel perikarp buah. Karena ekspansi sel buah sangat bergantung pada tekanan turgor, buah yang terbentuk berukuran kecil dan tidak terisi penuh, sehingga bobotnya rendah. Keterbatasan asimilat, fotosintesis terhambat yang berarti pasokan karbohidrat (asimilat) ke buah (sink) berkurang, semakin memperparah penurunan bobot (Widuri *et al.*, 2020).

Strategi dan Produksi Cabai

Penggunaan varietas adaptif

Kekeringan merupakan salah satu faktor abiotik utama yang menghambat produktivitas cabai merah, terutama pada daerah tropis dan subtropis dengan curah hujan tidak menentu. Ketahanan terhadap kekeringan tidak hanya bergantung pada sifat morfofisiologis tanaman, tetapi juga terkait erat dengan stabilitas genetik dan mekanisme adaptif setiap varietas. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa variasi genetik antar varietas lokal dan unggul mampu memberikan perbedaan nyata terhadap kemampuan bertahan dalam kondisi defisit air (Lestari *et al.*, 2024). Varietas cabai seperti Dewata, Laris, dan SSP terbukti menunjukkan respons fisiologis lebih baik dibandingkan varietas lain ketika mengalami stres kekeringan, ditunjukkan melalui nilai indeks stabilitas kekeringan (ISK) dan rasio biomassa akar terhadap tajuk yang lebih tinggi (Roziqoh *et al.*, 2023).

Genotipe cabai merah yang memiliki toleransi tinggi terhadap kekeringan umumnya menunjukkan efisiensi fotosintesis yang tetap stabil meskipun kadar air tanah menurun. dari 24 genotipe cabai lokal Sumatera Barat yang diuji menggunakan cekaman buatan dengan *Polyethylene Glycol* (PEG 6000), sekitar enam genotipe menunjukkan daya kecambah dan indeks vigor yang tinggi. Hal ini menandakan adanya mekanisme adaptasi pada fase awal pertumbuhan benih, yang sangat penting dalam keberhasilan budidaya di lahan kering. Genotipe-genotipe tersebut dapat dijadikan sumber plasma nutfah potensial untuk program pemuliaan varietas tahan cekaman kekeringan (Budyanti *et al.*, 2023). Evaluasi lanjutan pada varietas cabai merah generasi M2 menunjukkan adanya nilai heritabilitas sedang hingga tinggi pada karakter vegetatif seperti tinggi tanaman, diameter batang, dan

panjang akar, yang mengindikasikan potensi pewarisan sifat toleransi kekeringan secara genetik (Suwandana *et al.*, 2019).

Varietas dan genotipe lokal seperti cabai Kerinci, Lembang, dan Bukittinggi memiliki kemampuan adaptif alami terhadap fluktuasi kelembapan tanah. Safitri (2024) genotipe lokal tersebut memiliki kerapatan stomata rendah dan jaringan palisade lebih tebal dibandingkan varietas introduksi, yang berperan dalam mengurangi kehilangan air dan mempertahankan aktivitas fotosintesis selama periode kering. Potensi adaptif ini penting untuk dikembangkan menjadi varietas unggul nasional toleran kekeringan. Upaya pemuliaan dapat diarahkan melalui kombinasi pemuliaan konvensional, mutasi induksi, dan pemanfaatan genotipe lokal yang adaptif, disertai penerapan marker-assisted selection (MAS) untuk mempercepat identifikasi gen toleransi. Pendekatan integratif antara aspek genetik, fisiologis, dan ekologis diharapkan menghasilkan varietas cabai merah produktif dan tahan terhadap perubahan iklim ekstrem, sekaligus mendukung ketahanan pangan nasional (Lestari *et al.*, 2024).

Teknik budidaya

Budidaya cabai merah di lahan pesisir menghadapi tantangan lingkungan seperti salinitas tinggi, suhu ekstrem, dan fluktuasi kelembapan tanah, sehingga diperlukan teknologi adaptif untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi penggunaan air. Dua teknologi yang efektif untuk mengatasi kendala tersebut adalah mulsa plastik hitam perak dan irigasi tetes. Mulsa plastik hitam perak berfungsi menekan penguapan air, menjaga kelembapan dan suhu tanah tetap stabil, serta menghambat pertumbuhan gulma. Bagian perak memantulkan cahaya

matahari guna meningkatkan intensitas cahaya di sekitar tajuk tanaman dan menurunkan serangan hama, sedangkan bagian hitam menekan pertumbuhan gulma di area perakaran. Gulo *et al.* (2025) penggunaan mulsa plastik hitam perak pada budidaya cabai merah meningkatkan pertumbuhan dan hasil panen.

Sistem irigasi tetes berperan penting dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air, terutama di lahan pesisir dengan ketersediaan air terbatas. Teknologi ini menyalurkan air secara perlahan dan merata ke zona perakaran, sehingga mengurangi kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem irigasi tetes meningkatkan hasil panen cabai merah sebesar 25% dibandingkan irigasi manual, sekaligus menghemat air hingga 35% dengan efisiensi penggunaan air hampir dua kali lipat. Kombinasi antara mulsa plastik hitam perak dan irigasi tetes mampu menciptakan kondisi mikroklimat tanah yang stabil, menjaga kelembapan dan aerasi, serta meningkatkan efisiensi penyerapan hara oleh akar. Integrasi kedua teknologi tersebut juga menekan biaya operasional, mengurangi frekuensi penyiraman, dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan khas pesisir. Dengan demikian, penerapan mulsa anorganik dan irigasi tetes merupakan strategi adaptif yang efektif untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan budidaya cabai merah di lahan pesisir (Zairani *et al.*, 2023).

Budidaya cabai merah di lahan pesisir kerap menghadapi stres abiotik seperti salinitas, fluktuasi kelembapan, dan defisiensi hara akibat kondisi lingkungan yang kurang ideal. Penerapan biostimulan dan zat pengatur tumbuh (ZPT) menjadi strategi efektif untuk

meningkatkan pertumbuhan, produktivitas, dan ketahanan tanaman. Aplikasi biostimulan pada paprika yang mengalami stres salin meningkatkan tinggi tanaman, massa kering, luas daun, dan kualitas buah melalui peningkatan aktivitas fotosintesis, osmoregulasi, dan sistem antioksidan (Ashour *et al.*, 2021). Pemberian GA₃ dan kinetin pada cabai meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, cabang, buah, serta hasil panen dibanding kontrol. Selain itu, biostimulan berbahan ekstrak alga laut atau asam humik juga terbukti meningkatkan hasil dan kualitas buah melalui stimulasi hormon tumbuh (auksin, sitokinin) dan metabolit sekunder seperti fenolik dan karotenoid (Anolisa *et al.*, 2020). Dengan demikian, integrasi penggunaan biostimulan dan ZPT pada lahan pesisir dapat mengoptimalkan fisiologi tanaman, memperkuat adaptasi terhadap stres, mempercepat fase generatif, dan meningkatkan produktivitas cabai merah secara signifikan.

Penerapan praktik agronomi terpadu pada budidaya cabai di lahan pesisir merupakan pendekatan adaptif untuk mengoptimalkan produktivitas dan efisiensi penggunaan sumber daya di lingkungan yang rentan terhadap stres abiotik seperti salinitas, fluktuasi kelembapan, dan keterbatasan air. Sistem irigasi tetes menjadi komponen utama dalam manajemen air karena mampu menyalurkan air langsung ke zona perakaran dengan laju yang terkontrol, sehingga menekan evaporasi dan meningkatkan efisiensi penggunaan air serta hasil panen tanaman cabai (Tian *et al.*, 2024). Di sisi lain, penggunaan mulsa anorganik seperti mulsa plastik hitam-perak terbukti efektif dalam menjaga kelembapan tanah, menekan pertumbuhan gulma, dan memperbaiki mikroklimat di sekitar akar, sehingga

meningkatkan penyerapan unsur hara dan efisiensi fotosintesis tanaman. Secara keseluruhan, integrasi komponen agronomi tersebut menghasilkan sistem budidaya cabai merah yang hemat air, adaptif, dan berkelanjutan, menjadikannya solusi strategis untuk meningkatkan produktivitas di lahan pesisir yang memiliki keterbatasan lingkungan (Mačkić *et al.*, 2023).

Penelitian Di Masa Mendatang

Lahan pesisir menghadapi tantangan serius dalam budidaya pertanian akibat cekaman abiotik, terutama kekeringan dan salinitas. Kedua faktor ini saling berinteraksi dan memberikan dampak negatif yang lebih besar terhadap pertumbuhan tanaman dibandingkan jika terjadi secara terpisah. Kekeringan menyebabkan penurunan ketersediaan air tanah, sementara salinitas memicu toksisitas ion dan stres osmotik yang mengganggu keseimbangan fisiologis tanaman. Kombinasi keduanya terbukti meningkatkan akumulasi senyawa stres seperti hidrogen peroksida (H₂O₂) dan malondialdehida (MDA), yang menandakan peningkatan stres oksidatif dalam jaringan tanaman. Dampak ini terlihat jelas pada tanaman cabai, di mana kekeringan menyebabkan penutupan stomata, penurunan konsentrasi CO₂ seluler, dan gangguan pada kloroplas yang berperan dalam fotosintesis. Salinitas juga memperburuk kondisi dengan akumulasi ion Na⁺ dan Cl⁻ yang mengganggu penyerapan hara dan menurunkan efisiensi fotosintesis. Oleh karena itu, arah penelitian masa mendatang perlu difokuskan pada pengembangan varietas tanaman yang toleran terhadap cekaman ganda, pemahaman lebih dalam tentang mekanisme adaptasi fisiologis dan biokimia, serta penerapan strategi agronomi dan teknologi yang mendukung

keberlanjutan pertanian di wilayah pesisir yang rentan terhadap perubahan iklim.

KESIMPULAN

Cekaman kekeringan di wilayah pesisir menurunkan pertumbuhan, fisiologi, dan hasil cabai merah melalui penurunan fotosintesis akibat penutupan stomata dan terganggunya fiksasi karbon. Sebagai respons adaptif, tanaman meningkatkan akumulasi osmolit dan aktivitas enzim antioksidan serta menunjukkan perubahan morfologis seperti pengurangan luas daun dan pendalaman akar. Peningkatan toleransi kekeringan dapat dicapai melalui penggunaan varietas adaptif dan penerapan teknologi budidaya hemat air untuk menjaga produktivitas berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agurla, S., Gahir, S., Munemasa, S., Murata, Y., & Raghavendra, A. S. (2018). Mechanism of stomatal closure in plants exposed to drought and cold stress. *Experimental Medicine and Biology* 1081, 215–232. Springer New York LLC. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-1244-1_12
- Alharbi, K., Al-Osaimi, A. A., & Alghamdi, B. A. (2022). Sodium Chloride (NaCl)-induced physiological alteration and oxidative stress generation in *Pisum sativum* (L.): A Toxicity Assessment. *ACS Omega*, 7(24), 20819–20832. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01427>
- Anolisa, Al-Imran, M., Hossen, R., Islam, A. T. M. R., & Das, S. K. (2020). Effect of plant growth regulators on growth and yield of chili (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Phytology*, 12(April), 117–120. <https://doi.org/10.25081/jp.2020.v12.6466>
- Ashour, M., Hassan, S. M., Elshobary, M. E., Ammar, G. A. G., Gaber, A., Alsanie, W. F., Mansour, A. T., & El-shenody, R. (2021). Impact of commercial seaweed liquid extract (Tam®) biostimulant and its bioactive molecules on growth and antioxidant activities of hot pepper (*Capsicum annuum*). *Plants*, 10(6), 1–13. <https://doi.org/10.3390/plants10061045>
- Blessy, B., Shivani, B., Anjuma, S., Laxshminarayana, Y., Kumar, C. D., & Naik, B. J. (2025). Screening of locally adapted chili (*Capsicum annuum* L.) genotypes for drought tolerance at seedling stage. 14(6), 154–165. <https://doi.org/https://doi.org/10.20546/ijcms.2025.1406.014>
- Botutihe, A. H., Hambali, V. A. L., Masiga, N. I. D., Saleh, W. A., & Syukri, M. R. (2023). Analisis karakteristik permukiman di wilayah pesisir. *Jambura Journal of Urban and Regional Planning*, 1(2), 24–31.
- BPS. (2024). *Produksi Tanaman Sayuran*, 2023. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NjEjMg==/produksi-tanaman-sayuran.html>
- Budiyati, I., Rujito, A. S., Renih, H., & Susilawati. (2017). Response of Red Chilli Varieties Under Drought Stress. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 66(6), 361–368. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2017-06.43>
- Budiyanti, T., Indriyani, N., Kirana, R., Suliansyah, I., & Hervani, D. (2023). Penentuan konsentrasi peg untuk seleksi toleransi kekeringan pada fase benih menggunakan 3 varietas cabai lokal Sumatera Barat. *Agrisaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 7(2), 146–154. [https://doi.org/10.32585/ags.v7i2\(is\).4358](https://doi.org/10.32585/ags.v7i2(is).4358)

- Busscher, W. J., Bjorneberg, D. L., & Sojka, R. E. (2009). Field application of PAM as an amendment in depp-tilled US southeastern coastal plain soils. *Soil and Tillage Research*, 104, 215–220. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.02.009>
- Colak, Y. B. (2021). Leaf water potential for surface and subsurface drip irrigated bell pepper under various deficit irrigation strategies. *Chil. j. agric. res.* 81(4), 81(4), 491–506. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392021000400491>
- Corwin, D. L. (2021). Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. *European Journal of Soil Science*, 72(2), 842–862. <https://doi.org/10.1111/ejss.13010>
- Da Silva Sá, F. V., Souto, L. S., De Paiva, E. P., Torres, S. B., & De Oliveira, F. A. (2019). iInitial development and tolerance of pepper species to salinity stress. *Revista Caatinga*, 32(3), 826–833. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n327rc>
- Gulo, A., Harefa, L., & Gea, F. J. (2025). Efektivitas penggunaan mulsa plastik dalam meningkatkan produktivitas tanaman cabai (*Capsicum annuum* L.). *Flora: Jurnal Kajian Ilmu Pertanian Dan Perkebunan*, 2(1), 152–159. <https://doi.org/https://doi.org/10.62951/flora.v2i1.258>
- Iqbal, B., Hussain, F., Khan, M. S., Iqbal, T., Shah, W., Ali, B., Al Syaad, K. M., & Ercisli, S. (2023). Physiology of gamma-aminobutyric acid treated *Capsicum annuum* L. (Sweet pepper) under induced drought stress. *PLoS ONE*, 18(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289900>
- Jin, Y., Yang, P., Li, J., Yang, Y., Yang, R., Fu, H., & Li, J. (2024). Brassinosteroids alleviate salt stress by enhancing sugar and glycine betaine in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plants*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/plants13213029>
- Khan, A. L., Shin, J. H., Jung, H. Y., & Lee, I. J. (2014). Regulations of capsaicin synthesis in *Capsicum annuum* L. by *Penicillium resedanum* LK6 during drought conditions. *Scientia Horticulturae*, 175, 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.008>
- Lestari, P., Evelyn, C., Gunawan, I., Widiyono, W., Syukur, M., Trikoesoemaningtyas, & Dasumiati. (2024). Respons morfologi dan anatomi kultivar cabai (*capsicum annuum* l) dan penetapan tingkat toleransinya terhadap ap defisit air. *Jurnal Hortikultura Indonesia* 15(3), 163–171.
- Lestari, P., Evelyn, C., Gunawan, I., Widiyono, W., Syukur, M., Trikoesoemaningtyas, & Dasumiati. (2024b). Respons morfologi dan anatomi kultivar cabai (*capsicum annuum* l) dan penetapan tingkat toleransinya terhadap defisit air. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 15(3), 163–171. <https://doi.org/10.29244/jhi.15.3.163-171>
- Li, J., Liu, D., Zhang, Y., Liu, Z., Wang, L., Gong, H., Xu, Y., Lei, S., Xie, H., & Binley, A. (2023). Irrigation optimization via crop water use in saline coastal areas—a field data analysis in China’s yellow river delta. *Plants*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/plants12101990>
- Lv, X., Xiao, H., Jie, H., Ma, Y., He, P., Xing, H., & Jie, Y. (2024). Response of lignin and flavonoid metabolic pathways in *Capsicum annuum* to drought and waterlogging stresses. 52(2), 1–25. <https://doi.org/10.15835/nbha52213819>
- Mačkić, K., Bajić, I., Pejić, B., Vlajić, S., Adamović, B., Popov, O., & Simić, D. (2023). Yield and water use efficiency

- of drip irrigation of pepper. *Water (Switzerland)*, 15(16). <https://doi.org/10.3390/w15162891>
- Mahmood, T., Rana, R. M., Ahmar, S., Saeed, S., Gulzar, A., Khan, M. A., Wattoo, F. M., Wang, X., Branca, F., Mora-Poblete, F., Mafra, G. S., & Du, X. (2021). Effect of drought stress on capsaicin and antioxidant contents in pepper genotypes at reproductive stage. *Plants*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/plants10071286>
- Rocha-Martin, J., Velasco-Lozano, S., Guisán, J. M., & López-Gallego, F. (2014). Oxidation of phenolic compounds catalyzed by immobilized multi-enzyme systems with integrated hydrogen peroxide production. *Green Chemistry*, 16(1), 303–311. <https://doi.org/10.1039/c3gc41456f>
- Penella, C., Nebauer, S. G., Quiñones, A., San Bautista, A., López-Galarza, S., & Calatayud, A. (2015). Some rootstocks improve pepper tolerance to mild salinity through ionic regulation. *Plant Science*, 230, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.10.007>
- Rai, G. K., Khanday, D. M., Choudhary, S. M., Kumar, P., Kumari, S., Martínez-Andújar, C., Martínez-Melgarejo, P. A., Rai, P. K., & Pérez-Alfocea, F. (2024). Unlocking nature's stress buster: Absciscic acid's crucial role in defending plants against abiotic stress. *Plant Stress*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100359>
- Ripoll, J., Urban, L., Staudt, M., Lopez-lauri, F., Bidet, L. P. R., & Bertin, N. (2014). Water shortage and quality of fleshy fruits — making the most of the unavoidable. *Journal of Experimental Botany*, 65(15), 4097–4117. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru197>
- Rosmainar, L., Ningsih, W., Ayu, N. ., & Nanda, H. (2018). Penentuan kadar vitamin c beberapa jenis cabai (*Capsicum* sp.) dengan spektrofotometri uv-is. 3(1), 1–5.
- Roziqoh, W., Perdani, A. Y., Wahyuni, Y., & Su'udi, M. (2023a). Upaya peningkatan ketahanan cabai merah (*Capsicum annuum* L.) terhadap. *Jurnal Agrotek Tropika*, 11(4), 547–554.
- Roziqoh, W., Perdani, A. Y., Wahyuni, Y., & Su'udi, M. (2023b). Upaya peningkatan ketahanan cabai merah (*Capsicum annuum* L.) terhadap cekaman kekeringan dengan iradiasi gamma. *Jurnal Agrotek Tropika*, 11(4), 547–554.
- Safitri, R. (2024). Karakteristik morfologi dan anatomi beberapa kultivar cabai (*Capsicum annuum* L.) dalam menanggapi cekaman kekeringan. 1(1), 156–164.
- Sarangi, S. K., Mainuddin, M., Raut, S., Mandal, U. K., & Mahanta, K. K. (2024). Coastal salinity management and cropping system intensification through conservation agriculture in the ganges delta. *Soil Systems*, 8(3), 1–20. <https://doi.org/10.3390/soilsystems8030080>
- Shahid, M. A., Sarkhosh, A., Khan, N., Balal, R. M., Ali, S., Rossi, L., Gómez, C., Mattson, N., Nasim, W., & Garcia-Sanchez, F. (2020). Insights into the physiological and biochemical impacts of salt stress on plant growth and development. *Agronomy*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/agronomy10070938>
- Siaga, E., Rini, D. S., Widuri, L. I., Sakagami, J. I., Lakitan, B., & Yabuta, S. (2024). Growth and morpho-physiological assessments of Indonesian red chili cultivars on early vegetative stage under water stress conditions: A comparison of waterlogging and drought. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 84(3), 425–438. <https://doi.org/10.4067/S0718->

[58392024000300425](https://doi.org/10.32663/ja.v23i1.5303)

- Sihotang, T., Aziz, L., Siregar, M., & Rahmawati, N. (2024). Growth and biochemical responses of red chili (*Capsicum annum* L.) under drought conditions with 6- Benzylaminopurine application. *13*(2), 61–73.
- Suwandana, E., Ardian, R., & Nyimas, S. (2019). Variability and heritability of vegetative characters of red chili (*Capsicum annum* L.) laris variety of M2 generation as the results of gamma ray irradiation. *J. Agrotek Tropika*, *8*(3), 445–452.
- Tian, Y., Wang, J., Chen, J., Yu, D., Zeng, Z., Fu, J., Zhang, F., Cao, H., Liu, F., & Liang, T. (2024). *Effects of Integrated Management Strategies on Pepper Yield and Quality: A Study of Cultivation and Nutrient Management Practices*.
- Utaminingsih, Suharyanto, & Sumardi, I. (2019). Mikrosporogenesis cabai merah besar (*Capsicum annum* L.). *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera : A Scientific Journal*, *2*(36), 79–84. <https://doi.org/10.20884/1.mib.2019.36.2.866>
- Utari, D. (2022). *Respons Pertumbuhan dan Kadar Kapsaisin Tanaman Cabai Merah (Capsicum annum L .) terhadap Kekeringan dan Pemberian Mikoriza Arbuskular Growth Response and Capsaicin Levels of Red Chili Pepper (Capsicum annum L .) against Drought and Arbuscular Mycorrhizae Application*. *11*(1), 63–77.
- Utari, D., & Rachmawati, D. (2022). Respons pertumbuhan dan kadar kapsaisin tanaman cabai merah (*Capsicum annum* L.) terhadap kekeringan dan pemberian mikoriza arbuskular. *Vegetalika*, *11*(1), 63–77. <https://doi.org/10.22146/veg.66916>
- Wassie, W. ., Andualem, A. M., Molla, A. E., Tarekegn, Z. A., W, A. M., & Ayana, M. T. (2023). Growth, physiological, and biochemical responses of ethiopian red pepper (*Capsicum annum* L.) cultivars to drought stress. *The Scientific World Journal*, 1–21. <https://doi.org/10.1155/2023/4374318>
- Widuri, L. I., Lakitan, B., Sakagami, J., Yabuta, S., Kartika, K., & Siaga, E. (2020). Short-term drought exposure decelerated growth and photosynthetic activities in chili pepper (*Capsicum annum* L.). *Annals of Agricultural Sciences*, *65*(2), 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2020.09.002>
- Zairani, F. Y., Hasani, B., Nisfuriah, L., Dali, D., Kalasari, R., & Abd. Nasser, G. (2023). The effect of various kinds of mulch on the growth and production of chili plants. *Journal of Global Sustainable Agriculture*, *3*(2), 7. <https://doi.org/10.32502/jgsa.v3i2.6072>
- Zamljen, T., Medic, A., Hudina, M., Veberic, R., & Slatnar, A. (2022). Salt stress differentially affects the primary and secondary metabolism of peppers (*capsicum annum* l.) according to the genotype, fruit part, and salinity level. *Plants*, *11*(7). <https://doi.org/10.3390/plants11070853>
- Zhang, H., Liu, Y., Li, J., Tian, P., Zhong, J., & Gong, H. (2023). Evaluation and analysis of coastal complex ecological resilience based on multidimensional data : A case study of East China Sea. *Ecological Indicators*, *155*(August), 110981. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110981>
- Zhang, X., Ma, X., Wang, S., Liu, S., & Shi, S. (2024). Physiological and genetic aspects of resistance to abiotic stresses in capsicum species. *Plants*, *13*(21). <https://doi.org/10.3390/plants13213013>
- Zhu, L., Sun, Y., Wang, R., Zeng, J., Li, J., Huang, M., Wang, M., Shen, Q., & Guo, S. (2025). Applied potassium negates osmotic stress impacts on plant

DOI: 10.32663/ja.v23i1.5303

physiological processes: a meta-
analysis. *Horticulture Research*, 12(2).

<https://doi.org/10.1093/hr/uhae318>