

Respons Pertumbuhan, Produktivitas, dan Kualitas Nutrisi Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) terhadap Optimasi Dosis Pupuk Kalium pada Kondisi Defisit Air Terkontrol

*Growth, Productivity, and Nutritional Quality Response of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to Optimizing Potassium Fertilizer Dosage under Controlled Water Deficit Conditions*

Riswanda Sukma Hanifa^{1*}, M. Taufik Fauzi¹, A.A. Sudharmawan¹

¹(Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Indonesia.

*corresponding author, email: riswanda.sukmahanifa@gmail.com

ABSTRAK

Kelangkaan air akibat perubahan iklim global menjadi salah satu kendala utama dalam produksi tomat (*Solanum lycopersicum* L.), khususnya pada lahan kering tropis, karena tanaman ini memiliki nilai ekonomi tinggi namun sensitif terhadap keterbatasan air. Artikel ini bertujuan mengkaji respons fisiologis dan agronomis tomat terhadap interaksi defisit air dan pemupukan kalium, meliputi status hidrasi tanaman melalui kandungan air relatif, pertumbuhan vegetatif, komponen hasil buah, serta kualitas nutrisi berdasarkan nilai total padatan terlarut (°Brix). Kajian dilakukan menggunakan metode *narrative review* melalui penelusuran literatur pada basis data Scopus dan SINTA terhadap artikel ilmiah periode 2018-2025 dari berbagai penerbit internasional, yang menghasilkan 17 artikel terpilih untuk dianalisis dan disintesis dalam empat tabel komparasi. Hasil kajian menunjukkan bahwa peningkatan tingkat cekaman air secara umum menurunkan kandungan air relatif daun, tinggi tanaman, jumlah buah, dan bobot buah, sedangkan nilai °Brix cenderung meningkat pada cekaman ringan hingga moderat akibat peningkatan konsentrasi senyawa terlarut dalam buah. Aplikasi kalium berperan dalam mengurangi dampak negatif kekeringan melalui pengaturan keseimbangan osmotik, peningkatan aktivitas antioksidan, pengendalian stomata, serta mendukung distribusi fotosintat menuju organ generatif. Kombinasi defisit air moderat (50-80% kapasitas lapang) dengan ketersediaan kalium optimal mampu mempertahankan performa tanaman pada berbagai parameter, sedangkan cekaman berat menyebabkan penurunan produktivitas meskipun kalium tersedia. Oleh karena itu, strategi pengelolaan air melalui defisit irigasi terkontrol yang dipadukan dengan pemupukan kalium secara tepat dosis dan waktu berpotensi meningkatkan ketahanan serta produktivitas tomat pada lahan kering tropis, dengan efektivitas yang tetap dipengaruhi oleh faktor genotipe, fase pertumbuhan, dan kondisi lingkungan.

Kata kunci: osmoregulasi; kandungan air relatif; efisiensi penggunaan air; toleransi kekeringan

ABSTRACT

Water scarcity caused by global climate change is one of the main constraints on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production, particularly in tropical drylands, as this crop has high economic value but is sensitive to water limitations. This article aims to examine the physiological and agronomic responses of tomatoes to the interaction between water deficit and potassium fertilization, including plant hydration status as measured by relative water content, vegetative growth, fruit yield components, and nutritional quality based on total soluble solids (°Brix). The study was conducted using a narrative review method through a literature search in the Scopus and SINTA databases for scientific articles published between 2018 and 2025 by various international publishers, resulting in 17 selected articles that were analyzed and synthesized into four comparative tables. The results of the study indicate that an increase in water stress levels generally reduces relative leaf water content, plant height, fruit number, and fruit weight, while °Brix values tend to increase under mild to moderate stress due to an increase in the concentration of soluble compounds in the fruit. Potassium application plays a role in mitigating the negative effects of drought by regulating osmotic balance, enhancing antioxidant activity, controlling stomatal function, and supporting the distribution of photosynthates to reproductive organs. A combination of moderate water deficit (50–80% of field capacity) with optimal potassium availability can maintain plant performance across various parameters, whereas severe stress leads to a decline in productivity even when potassium is available. Therefore, a water management strategy involving controlled irrigation deficit combined with potassium fertilization at the appropriate dose and timing has the potential to improve the resilience and productivity of tomatoes in tropical dryland areas, although its effectiveness remains influenced by genotype, growth stage, and environmental conditions.

Keywords: osmoregulation; relative water content; water use efficiency; drought tolerance

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global telah menempatkan ketersediaan air sebagai salah satu ancaman paling serius bagi keberlanjutan sistem pertanian dunia. Sistem pertanian tadah hujan yang sepenuhnya bergantung pada air tanah dari curah hujan menyuplai sekitar 60% produksi pangan global dan sangat rentan terhadap perubahan pola suhu dan curah hujan yang semakin intensif akibat perubahan iklim (He & Rosa, 2023). Kondisi ini diperparah oleh proyeksi yang mengkhawatirkan bahwa kelangkaan air pertanian akan semakin parah di lebih dari 80% lahan pertanian global, dengan berkurangnya ketersediaan air sebagai faktor dominan yang memperburuk kondisi kekurangan air di masa depan (X. Liu *et al.*, 2022).

Salah satu produk hortikultura yang memiliki nilai gizi dan ekonomi yang signifikan adalah tomat (*Solanum lycopersicum* L.). Dengan produksi sebesar 186 juta ton pada tahun 2022, tomat merupakan sayuran dengan produksi global tertinggi, sehingga menjadikannya komponen penting dalam rantai pangan global. Tomat menyumbang 16% dari seluruh sayuran yang diproduksi di seluruh dunia, tetapi tomat sangat rentan terhadap sejumlah faktor pemicu stres, baik biotik (hama dan penyakit) maupun abiotik (cahaya, suhu, air, kelembapan, dan nutrisi). Faktor-faktor pemicu stres ini dapat menurunkan hasil panen dan kualitas buah hingga 50-70%, yang dapat menyebabkan kerawanan pangan dan kerugian finansial (Mustafa *et al.*, 2025). Di Indonesia, tomat merupakan komoditas sayuran prioritas yang dibudidayakan secara luas, namun produktivitasnya masih tergolong rendah dibanding potensi genetik tanaman, salah satunya akibat cekaman kekeringan yang semakin sering terjadi di wilayah lahan kering tropis.

Stres air pada tanaman tomat menyebabkan penurunan pertumbuhan akibat terganggunya proses fotosintesis, terutama melalui penutupan stomata yang membatasi masuknya CO₂ dan menurunkan aktivitas karboksilasi. Penurunan ketersediaan air dari 100% menjadi 75% dan 50% kapasitas lapang dilaporkan mampu menurunkan bobot segar serta bobot kering buah tomat masing-masing hingga 11-34% dan 10-32% dibandingkan kontrol. Selain mengurangi hasil produksi, cekaman air juga memengaruhi kualitas buah dengan menurunkan konsentrasi kalsium, tetapi meningkatkan kandungan vitamin C serta beberapa mineral seperti kalium, natrium, besi, dan seng (Zahedifar *et al.*, 2025). Selain itu, penelitian oleh Permatasari *et al.* (2026), melaporkan bahwa penelitian yang dilakukan pada tahun 2023-2024 menunjukkan bahwa tekanan kekeringan dapat menurunkan hasil panen tomat hingga 28% dan menyebabkan gangguan homeostasis ionik yang memengaruhi kualitas buah secara keseluruhan. Data ini menunjukkan bahwa kekurangan air tidak hanya mengancam volume produksi tomat, tetapi juga nilai gizinya.

Karena perannya yang sangat penting dalam fisiologi tanaman, pemupukan kalium (K) telah menjadi sorotan dalam berbagai strategi agronomi untuk mengurangi dampak stres kekeringan. Dengan mengatur morfologi akar dan eksudat serta ekosistem tanah, pemberian kalium dapat mengurangi dampak stres kekeringan terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Dalam kondisi kekurangan air, pupuk K memiliki efek positif terhadap pH tanah, fosfor yang tersedia, kalium yang tersedia, dan indeks keanekaragaman mikroba yang lebih signifikan. Namun, pasokan kalium yang berlebihan juga dapat mengganggu keseimbangan air dalam organ tanaman dan merusak translokasi zat terlarut yang didorong oleh turgor (Xu *et al.*, 2021). Pada level yang optimal, kalium dikenal dapat meringankan dampak negatif stres abiotik pada tanaman dengan mengendalikan kehilangan air, menunda klorosis dan *senescence* daun, serta memitigasi dampak buruk cekaman kekeringan melalui regulasi karakteristik fisio-biokimia seperti aktivasi enzim, osmoregulasi, dan transpor membran (Fang *et al.*, 2022).

Penelitian yang secara menyeluruh menggabungkan reaksi fisiologis, pertumbuhan vegetatif, produktivitas, dan kualitas gizi tomat ke dalam satu sintesis literatur masih tergolong langka, meskipun peran kalium dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap stres kekeringan telah didokumentasikan dengan baik. Banyak penelitian menunjukkan bahwa tahap pertumbuhan tanaman memiliki dampak signifikan terhadap efek pemupukan kalium dan defisit air terhadap hasil panen dan efisiensi penggunaan air. Meskipun ketersediaan air yang cukup selama pertumbuhan hingga pematangan buah tetap menjadi faktor krusial dalam menentukan produksi akhir tanaman, kalium diketahui dapat membantu mengurangi dampak merugikan kekeringan, terutama selama tahap pembungaan dan pembentukan buah (J. Liu *et al.*, 2019).

Dalam hal ini, operasi dan kelangsungan ekonomi sektor primer semakin menantang karena perubahan iklim, yang juga berdampak langsung pada pendapatan petani, terutama dalam sistem pertanian lahan kering (Santo *et al.*, 2022). Kondisi ini mendorong pentingnya pengembangan teknik budidaya yang dapat meningkatkan hasil

panen sekaligus mengoptimalkan pemanfaatan air, terutama untuk tanaman hortikultura seperti tomat yang rentan terhadap stres kekeringan. Dalam konteks pertanian lahan kering tropis, khususnya di Indonesia, hubungan antara dosis pemupukan kalium dan tingkat kekurangan air menunjukkan interaksi yang kompleks yang belum diteliti secara mendalam. Untuk memberikan landasan ilmiah bagi pengembangan rekomendasi budidaya tomat yang lebih hemat air di daerah lahan kering, artikel tinjauan ini mengkaji dan mensintesis berbagai temuan penelitian mengenai pengaruh optimalisasi dosis pemupukan kalium dalam kondisi defisit air terkendali terhadap pertumbuhan, produktivitas, dan kualitas gizi tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.).

Secara spesifik, tujuan artikel ini adalah: (1) menganalisis respons status hidrasi tanaman (kandungan relatif air) terhadap interaksi defisit air dan pemupukan kalium pada tanaman tomat; (2) mengidentifikasi pengaruh kombinasi tingkat defisit air dan dosis kalium terhadap pertumbuhan vegetatif (tinggi tanaman); (3) mengevaluasi dampaknya terhadap komponen hasil buah (jumlah dan bobot buah); serta (4) mengkaji perubahan kualitas nutrisi buah (total padatan terlarut/ $^{\circ}$ Brix) pada berbagai level interaksi defisit air dan dosis kalium.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *narrative review* untuk mensintesis dan menginterpretasikan berbagai temuan ilmiah secara naratif guna membangun pemahaman yang komprehensif terhadap topik yang dikaji. Penelusuran literatur dilakukan melalui basis data pengindeks Scopus dan SINTA, dengan jurnal sumber mencakup penerbit MDPI, Elsevier (ScienceDirect), Springer Nature, Frontiers, PLOS, Wiley, serta Oxford Academic, dll untuk publikasi tahun 2018-2025, menggunakan kombinasi kata kunci berbasis operator Boolean AND/OR: *Solanum lycopersicum*/tomat; *potassium fertilizer*/pupuk kalium/KCL/ K_2O ; dan *drought stress/water deficit*/cekaman kekeringan/kapasitas lapang.

Kriteria inklusi meliputi artikel yang memuat minimal satu dari empat parameter kajian (KAR, tinggi tanaman, komponen hasil buah, TPT/ $^{\circ}$ Brix) dengan data kuantitatif yang dapat diakses penuh. Artikel eksklusi mencakup prosiding non-*peer-reviewed*, laporan tanpa data primer, dan studi yang tidak membahas respons tomat terhadap air atau kalium secara langsung. Proses seleksi bertahap menghasilkan 17 artikel yang dianalisis dan disajikan dalam tabel komparasi per parameter. Penilaian kualitas studi dilakukan secara deskriptif berdasarkan relevansi rancangan percobaan (faktorial, kontrol perlakuan, replikasi) dan reputasi jurnal (terindeks Scopus, Web of Science, atau SINTA). Perlu dicatat bahwa sebagai *narrative review*, kajian ini tidak menerapkan prosedur meta-analisis sehingga sintesis bersifat naratif-tematik berdasarkan pola konsisten lintas studi; temuan yang dihasilkan bersifat indikatif dan perlu dikonfirmasi melalui penelitian eksperimental lanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peran Kalium dalam Mitigasi Cekaman Kekeringan

Kalium merupakan unsur hara makro yang berperan penting menunjang pertumbuhan dan adaptasi tanaman terhadap kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan. Ketersediaan kalium yang memadai membantu menjaga keseimbangan hara dan osmotik, mengaktifkan berbagai enzim metabolisme, serta mendukung proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Selain itu, kalium terlibat dalam berbagai mekanisme fisiologis penting seperti fotosintesis, pengaturan stomata, perlindungan osmotik, penyerapan air dan unsur hara, serta translokasi hasil fotosintesis ke berbagai organ tanaman. Melalui fungsi tersebut, kalium berkontribusi besar dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman abiotik, terutama kekeringan, sehingga pemupukan kalium merupakan satu agronomis yang efektif untuk mempertahankan kinerja tanaman pada kondisi stres lingkungan (Mostofa *et al.*, 2022).

Cekaman kekeringan menyebabkan gangguan keseimbangan metabolisme tanaman akibat meningkatnya produksi spesies oksigen reaktif (ROS), seperti hidrogen peroksida (H_2O_2) dan anion superoksida (O_2^-), yang dapat memicu kerusakan oksidatif pada membran sel serta menghambat berbagai proses fisiologis tanaman. Pada tanaman tomat, kondisi defisit air menyebabkan peningkatan tekanan oksidatif yang ditandai dengan perubahan aktivitas sistem pertahanan antioksidan sebagai mekanisme adaptasi tanaman terhadap lingkungan yang kurang menguntungkan. Sistem antioksidan enzimatik, termasuk superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), dan ascorbate peroxidase (APX), berperan dalam mengurangi akumulasi ROS sehingga kerusakan sel dapat diminimalkan. Respons peningkatan aktivitas enzim antioksidan tersebut menunjukkan bahwa kemampuan tanaman dalam mengendalikan stres oksidatif menjadi salah satu faktor penting dalam mempertahankan toleransi tanaman tomat terhadap kondisi kekeringan (Çelik *et al.*, 2017).

Pemberian kalium menjadi salah satu pendekatan nutrisi yang berpotensi meningkatkan kemampuan tanaman tomat dalam menghadapi kondisi kekurangan air. Kalium memiliki peran penting dalam mempertahankan fungsi fisiologis tanaman, sehingga ketersediaannya dapat memengaruhi kemampuan tanaman dalam mempertahankan pertumbuhan dan produktivitas ketika mengalami tekanan lingkungan. Penelitian Temur *et al.* (2023) menunjukkan bahwa aplikasi pupuk kalium pada tanaman tomat yang mengalami cekaman kekeringan memberikan pengaruh terhadap karakter pertumbuhan, hasil, dan beberapa parameter kualitas tanaman dibandingkan tanpa aplikasi kalium. Peningkatan ketersediaan kalium membantu tanaman mempertahankan performa pertumbuhan di bawah kondisi keterbatasan air, sehingga pemupukan kalium dapat menjadi salah satu strategi agronomi untuk mengurangi dampak negatif kekeringan pada produksi tomat.

Hasil Respon Fisiologis: Status Hidrasi Tanaman (Kandungan Air Relatif).

Kandungan air relatif (KAR) merupakan salah satu indikator fisiologis utama yang menggambarkan tingkat hidrasi jaringan tanaman dan sangat sensitif terhadap cekaman kekeringan. Penurunan ketersediaan air tanah menyebabkan berkurangnya kemampuan akar menyerap air, sehingga tekanan turgor sel menurun dan nilai KAR daun tomat mengalami penurunan secara bertahap. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa KAR menurun secara signifikan pada kondisi defisit air dibandingkan tanaman tanpa cekaman, sedangkan genotipe yang lebih toleran mampu mempertahankan KAR yang lebih tinggi sebagai bentuk adaptasi terhadap tekanan osmotik. Secara umum, KAR dihitung berdasarkan perbandingan bobot basah, bobot turgid, dan bobot kering daun, sehingga parameter ini sering digunakan sebagai indikator awal untuk mengevaluasi respons fisiologis tanaman tomat terhadap kondisi kekurangan air (Wadood *et al.*, 2024).

Kandungan air relatif (KAR) tanaman tomat cenderung menurun seiring meningkatnya intensitas cekaman kekeringan. Pada penelitian terhadap genotipe tomat lokal Sisilia berumur simpan panjang, nilai KAR daun menunjukkan tingkat hidrasi tertinggi pada perlakuan irigasi penuh (IRR), sedangkan perlakuan tanpa irigasi (DRY) menyebabkan penurunan KAR yang nyata. Pada perlakuan siklus kering-basah (REW), pola KAR yang dihasilkan justru mendekati kondisi DRY, menunjukkan rendahnya kemampuan genotipe lokal untuk merehidrasi jaringan setelah mengalami stres air (Patanè *et al.*, 2022).

Kalium dikenal sebagai kation paling banyak ditemukan dalam jaringan tanaman dan memegang peranan penting dalam proses osmoregulasi sel. Pada penelitian terhadap dua kultivar barley (*Hordeum vulgare*) yang dipapar stres osmotik buatan menggunakan *polyethylene glycol* (PEG) dengan level kalium rendah (0,04 mM) dan cukup (0,8 mM), suplai kalium yang optimal secara signifikan menurunkan produksi ROS dan menyeimbangkan aktivitas antioksidan, sehingga mengurangi stres oksidatif pada tanaman yang diuji Tavakol *et al.* (2021). Prinsip osmoregulasi berbasis kalium ini secara umum berlaku pada tanaman tingkat tinggi termasuk tomat, mengingat mekanisme dasar K^+ dalam menjaga tekanan turgor sel bersifat universal.

Tabel 1. Nilai Kandungan Air Relatif (KAR) Daun Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) pada Berbagai Dosis Pupuk Kalium dan Tingkat Defisit Air Berdasarkan Kajian Literatur.

No	Peneliti (Tahun dan Jurnal)	Dosis Kalium	Tingkat Defisit Air	Kandungan Air Relatif (RWC, %)	Keterangan Utama
1	(Ahmed <i>et al.</i> , 2024), <i>J. Applied Botany & Food Quality</i>	100 kg K_2O ha^{-1} dengan kombinasi (ASE)	50%, 75%, dan 100% kapasitas lapangan [FC]	Meningkat dibandingkan tanpa perlakuan K pada kondisi 50% FC	Kombinasi terbaik: K (100 kg K_2O ha^{-1}) ASE 5 mL L^{-1} ; KAR di 50% FC setara kontrol 100% FC
2	(Patanè <i>et al.</i> , 2022), <i>Plants</i> (MDPI)	Tanpa pemupukan K	DRY (0% irigasi), IRR (irigasi penuh), REW (siklus kering-basah)	KAR tertinggi pada IRR dan menurun signifikan pada DRY dan REW	Genotipe lokal menunjukkan pola KAR DRY \approx REW, kapasitas rehidrasi rendah
3	(Wadood <i>et al.</i> , 2024), <i>Frontiers in Plant Science</i>	Tanpa pemupukan K	Cekaman air 8 hari tanpa irigasi	Semua parameter fisiologis termasuk KAR turun nyata vs kontrol	Genotipe NBH-362 paling toleran, menunjukkan kemampuan mempertahankan KAR disertai peningkatan akumulasi prolin. Suplementasi K tinggi (10 mM) efektif mempertahankan kandungan air daun saat dehidrasi melalui regulasi penutupan stomata serta meningkatkan pertumbuhan pucuk dan <i>fruit setting</i> .
4	(De Luca <i>et al.</i> , 2021), <i>Horticulturae</i>	0,1 mM K (Kondisi Defisiensi Kalium), 1 mM K (Kondisi Kalium Kontrol/Normal), 10 mM K (Kondisi Kalium Tinggi/Suplemen)	Kontrol dan stress air	Kalium tinggi (10 mM K) mampu menahan kehilangan air lebih baik, menjaga kandungan air daun tetap tinggi	

Sumber: Diolah dari berbagai kajian literatur.

Tabel 1 menunjukkan bahwa kandungan air relatif (KAR) daun tomat menurun seiring meningkatnya intensitas defisit air, sehingga status hidrasi tanaman sangat ditentukan oleh ketersediaan air selama pertumbuhan. Pola ini tampak konsisten pada berbagai kajian, di mana tanaman dengan irigasi penuh mempertahankan KAR tertinggi, sedangkan perlakuan tanpa irigasi, siklus kering-basah, atau cekaman air tanpa penyiraman menyebabkan penurunan KAR yang nyata. Temuan tersebut menegaskan bahwa defisit air secara langsung melemahkan kemampuan jaringan daun untuk mempertahankan keseimbangan air, sehingga KAR dapat digunakan sebagai indikator fisiologis awal untuk menilai tingkat stres kekeringan pada tanaman tomat.

Pemberian kalium dapat membantu menekan penurunan KAR pada kondisi cekaman air, terutama ketika diberikan pada dosis dan kondisi air yang sesuai. Beberapa hasil dalam tabel menunjukkan bahwa aplikasi kalium, termasuk sekitar 100-120 kg K₂O ha⁻¹ atau suplai K yang lebih tinggi, mampu mempertahankan kandungan air daun lebih baik dibandingkan tanpa pemupukan K, bahkan pada kondisi defisit sedang hingga berat. Namun, respons tersebut tidak sepenuhnya seragam karena efektivitas kalium tetap dipengaruhi oleh tingkat cekaman air, dosis yang diberikan, dan fase pertumbuhan tanaman. Dengan demikian, tabel di atas menegaskan bahwa interaksi antara kecukupan kalium dan pengelolaan defisit air menjadi kunci untuk mempertahankan status air daun tomat dan meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan.

Hasil Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Tomat (Tinggi Tanaman)

Cekaman abiotik menyebabkan tanaman mengalami tekanan lingkungan yang dapat memengaruhi berbagai fungsi biologis. Munns & Millar, (2023) menjelaskan bahwa tanaman memiliki berbagai kapasitas adaptasi untuk menghadapi stres abiotik, yang memungkinkan tanaman mempertahankan fungsi biologis dan menyesuaikan responsnya terhadap kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Kapasitas adaptasi tersebut berperan penting dalam membantu tanaman mempertahankan keberlangsungan hidup dan performanya ketika menghadapi perubahan lingkungan.

Defisit air menghambat pertumbuhan tinggi tanaman tomat melalui mekanisme yang berpusat pada gangguan turgor sel. Berkurangnya ketersediaan air menyebabkan tekanan turgor sel meristem apikal menurun, sehingga pemanjangan sel terhambat dan laju pertumbuhan tinggi tanaman melambat secara progresif. Kondisi defisit air pada 50% kapasitas lapang menyebabkan penurunan tinggi tanaman tomat sebesar 20%, bobot segar tajuk sebesar 43%, bobot kering tajuk sebesar 39%, dan luas daun sebesar 50% dibandingkan dengan tanaman kontrol pada kondisi kapasitas lapang penuh (100% FC) (Turan *et al.*, 2023).

Ketersediaan air selama fase pertumbuhan vegetatif berperan penting dalam menentukan kemampuan tanaman tomat dalam membentuk biomassa dan mempertahankan pertumbuhan tinggi tanaman. Adi *et al.* (2024) menunjukkan bahwa perbedaan frekuensi pemberian air memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman tomat, dimana kondisi dengan ketersediaan air yang lebih optimal mampu menghasilkan pertumbuhan vegetatif yang lebih baik dibandingkan perlakuan dengan keterbatasan air, yaitu diperoleh dari kombinasi penyiraman dengan mulsa plastik hitam perak (P2M2).

Penurunan suplai air selama fase pertumbuhan menyebabkan berkurangnya kemampuan tanaman dalam mempertahankan aktivitas pertumbuhan sehingga berdampak pada penurunan tinggi tanaman. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan irigasi menjadi faktor penting dalam mempertahankan pertumbuhan vegetatif tomat pada kondisi lingkungan dengan keterbatasan air.

Pemupukan kalium terbukti mampu memitigasi penurunan pertumbuhan vegetatif tomat akibat cekaman kekeringan melalui mekanisme ganda baik pada tinggi tanaman maupun jumlah daun. Pada aspek tinggi tanaman, kalium berperan dalam aktivasi lebih dari 60 jenis enzim yang terlibat dalam sintesis protein struktural dan metabolisme karbohidrat yang menopang pemanjangan sel.

Aplikasi KNO₃ sebagai sumber kalium pada berbagai konsentrasi terbukti menghasilkan parameter pertumbuhan vegetatif, termasuk tinggi tanaman dan luas daun yang mendekati perlakuan kontrol bebas-stres; perlakuan KNO₃ 5% merupakan dosis terbaik yang mampu mempertahankan pertumbuhan tanaman tomat paling optimal pada kondisi cekaman air (Sahoo *et al.*, 2025).

Tabel 2. Hasil Tinggi Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) pada Berbagai Dosis Pupuk Kalium dan Tingkat Defisit Air Berdasarkan Kajian Literatur.

No	Peneliti (Tahun), Jurnal	Dosis Kalium	Tingkat Defisit Air	Tinggi Tanaman (cm)	Keterangan Utama
1	(Turan <i>et al.</i> , 2023), <i>Plant Science</i> (PMC)	Tanpa K (biostimulant PGPR)	50% FC vs 100% FC	Turun 20% pada 50% FC vs kontrol	Defisit air 50% FC menurunkan tinggi tanaman, bobot tajuk, bobot kering, dan luas daun dibandingkan kondisi 100% FC.
2	(Sahoo <i>et al.</i> , 2025), <i>Agricultural Science Digest</i>	KNO ₃ 1%, 2,5%, 5% (foliar)	Kondisi cekaman air dengan kontrol tanpa stres	Tinggi tanaman (115,77 cm) KNO ₃ 5%	Parameter vegetatif terbaik pada KNO ₃ 5%.
3	(Abdelaziz, 2018), <i>Science and Technology</i>	Aplikasi foliar K (10 mg L ⁻¹ K ₂ O), tanpa K sebagai kontrol	Kondisi air cukup dan cekaman air 50% kapasitas lapang	Cekaman air menurunkan tinggi tanaman, sedangkan aplikasi K membantu meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman dibanding tanaman tanpa aplikasi K pada kondisi stres,	Pemberian K secara foliar meningkatkan pertumbuhan vegetatif tomat dan membantu mengurangi dampak negatif cekaman air melalui peningkatan pertumbuhan tanaman dan perbaikan respons fisiologis Kalium mampu mengurangi dampak negatif defisit air terhadap pertumbuhan tanaman.
4	(Farzane <i>et al.</i> , 2020), <i>Advances in Horticultural Science</i>	KCl semprot daun 0, 3, dan 6 mM	50%, 75%, dan 100% ET	Aplikasi KCl memberikan peningkatan pertumbuhan dibandingkan tanpa K, terutama pada kondisi cekaman air.	
5	(Lestari <i>et al.</i> , 2023), <i>Jurnal Agro Indragiri</i>	KCl: K0=0 g/polybag; K1=6 g/polybag; K2=12 g/polybag (tanpa faktor defisit air)	Tanpa perlakuan defisit air (kondisi normal)	Tinggi tanaman tomat dengan nilai tertinggi 120,3 cm	Tinggi tanaman tomat meningkat seiring peningkatan dosis KCl, dengan nilai tertinggi 120,3 cm pada kombinasi asam humat 0,15 g/L dan KCl 12 g/polybag.

Sumber: Diolah dari berbagai kajian literatur.

Tabel 2 menunjukkan bahwa tinggi tanaman tomat menurun seiring meningkatnya defisit air, karena keterbatasan air menghambat pembelahan dan pemanjangan sel sehingga pertumbuhan vegetatif menjadi lebih lambat. Pola ini terlihat konsisten pada berbagai studi, termasuk kondisi 50% kapasitas lapang yang menurunkan tinggi tanaman dibandingkan kondisi air optimal, sehingga ketersediaan air tetap menjadi faktor dasar yang menentukan vigor awal tanaman tomat. Namun, tabel ini juga memperlihatkan bahwa respons tersebut tidak bersifat mutlak, karena penambahan kalium melalui berbagai bentuk dan dosis dapat menekan besarnya penurunan pertumbuhan, terutama pada tanaman yang berada di bawah cekaman air. Dengan demikian, tabel di atas menegaskan bahwa tinggi tanaman pada fase vegetatif dibentuk oleh interaksi antara tingkat kekeringan dan kecukupan kalium, bukan oleh salah satu faktor secara tunggal.

Di sisi lain, tabel di atas juga menunjukkan bahwa efektivitas kalium sangat dipengaruhi oleh bentuk aplikasi dan dosis yang digunakan. Aplikasi KNO₃ foliar 5% dilaporkan memberikan respons vegetatif terbaik pada kondisi cekaman air, sedangkan aplikasi kalium foliar maupun semprot KCl pada studi lain juga cenderung meningkatkan pertumbuhan dibandingkan tanpa kalium. Pada kondisi tanpa defisit air, peningkatan dosis KCl hingga 12 g/polybag masih berkaitan dengan tinggi tanaman tertinggi, yang menunjukkan bahwa kalium tidak hanya berfungsi sebagai unsur mitigasi stres, tetapi juga sebagai penunjang pertumbuhan normal bila tersedia dalam jumlah yang memadai. Karena itu, keseluruhan isi tabel dapat disimpulkan bahwa pengelolaan kalium yang tepat membantu mempertahankan pertumbuhan tajuk tomat pada lingkungan kering, tetapi hasil terbaik tetap muncul ketika dosis kalium selaras dengan kondisi air dan fase pertumbuhan tanaman

Hasil Produktivitas Tanaman Tomat (Komponen Hasil dan Bobot Buah).

Produktivitas tanaman tomat sangat dipengaruhi oleh kondisi air selama fase perkembangan buah karena ketersediaan air berhubungan dengan kemampuan tanaman mempertahankan pertumbuhan dan pembentukan hasil. J. Liu *et al.* (2021) menunjukkan bahwa pemberian kalium selama fase perkembangan buah pada kondisi irigasi defisit mampu meningkatkan kualitas buah, meningkatkan serapan kalium tanaman, serta memperbaiki efisiensi penggunaan air dan kalium. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan kalium yang tepat dapat membantu mempertahankan performa tanaman pada kondisi keterbatasan air melalui peningkatan pemanfaatan sumber daya yang tersedia.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa stres kekeringan dapat memengaruhi komponen hasil tomat melalui jalur fisiologis seperti pembungaan dan pematangan buah. Pada percobaan irigasi defisit di rumah kaca dengan empat level penyiraman (100%, 90%, 80%, dan 70% dari evaporasi panci kelas-A), kekurangan air ditemukan menimbulkan efek stres yang tercermin dari perubahan fungsi fisiologis tanaman seperti pola pembungaan dan pematangan dini. Namun menariknya, jumlah buah, bobot buah, dan total hasil panen pada keempat level irigasi tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik, menunjukkan bahwa irigasi defisit moderat justru dapat menstabilkan hasil panen meski terjadi tekanan fisiologis pada tanaman (Atilgan *et al.*, 2022).

Defisit air tidak hanya memengaruhi proses fisiologis tanaman, tetapi juga berdampak langsung pada hasil panen. Penelitian pada tomat yang ditanam di tanah lempung berpasir dan lempung berdebu dengan empat tingkat ketersediaan air (70-100%, 60-70%, 50-60%, dan 40-50% kapasitas lapang) menunjukkan bahwa hasil panen layak jual menurun seiring menurunnya persentase kapasitas lapang pada kondisi cekaman terberat (40-50% FC), hasil panen layak jual menjadi paling rendah, disertai penurunan kekerasan buah dan kandungan jus buah, meskipun beberapa parameter kualitas seperti padatan terlarut total dan vitamin C justru meningkat (Alordzinu *et al.*, 2022). Kondisi ini menunjukkan adanya pertukaran antara kuantitas dan kualitas hasil pada tingkat cekaman yang berbeda.

Dari perspektif pertanian lahan kering, pemilihan sistem irigasi yang tepat dalam kondisi defisit air memiliki potensi besar untuk diterapkan. Penelitian pada sistem irigasi tetes dan alur dengan berbagai rezim kelembaban tanah menunjukkan bahwa sistem irigasi tetes pada rezim -10 kPa mampu mengurangi total penggunaan air sebesar 22,6% dan 19,8%, sekaligus menghasilkan hasil panen 28% dan 22% lebih tinggi dibandingkan sistem irigasi alur pada dua musim tanam berturut-turut (Mukherjee *et al.*, 2023) Pendekatan pemilihan sistem dan rezim irigasi yang tepat ini dapat menjadi salah satu strategi adaptasi yang menjanjikan dalam menghadapi peningkatan frekuensi kekeringan akibat perubahan iklim, sebagai pelengkap dari strategi pemupukan kalium yang telah dibahas sebelumnya.

Tabel 3. Komponen Hasil Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) Jumlah dan Bobot Buah pada Berbagai Dosis Pupuk Kalium dan Tingkat Defisit Air Berdasarkan Kajian Literatur.

No	Peneliti (Tahun), Jurnal	Dosis Kalium	Tingkat Defisit Air	Jumlah Buah (buah tanaman ⁻¹)	Bobot Buah per Tanaman (g)	Keterangan Utama
1	(J. Liu <i>et al.</i> , 2019), <i>PLOS One</i> (Scopus)	K1=0; K2=0,46; K3=0,92 g K ₂ O kg ⁻¹	W1=60-70%, W2=70-80%, W3=80-90% FC	Kombinasi kondisi air 80-90% FC dengan dosis K2 menghasilkan komponen hasil terbaik	Bobot buah tertinggi diperoleh pada kondisi W3K2	Perlakuan W3K2 menghasilkan komponen hasil tomat yang paling baik, dibandingkan perlakuan cekaman kekeringan.
2	(Ahmed <i>et al.</i> , 2024), <i>J. Appl. Bot. Food Qual.</i> (Scopus)	K tunggal: 100 kg K ₂ O ha ⁻¹ ; Kombinasi: ASE 5 mL L ⁻¹ + K 100 kg ha ⁻¹	50%, 75%, 100% FC	perlakuan K + ASE membantu mempertahankan performa buah pada kondisi defisit air	Meningkat nyata pada kombinasi ASE+K di 50% FC mendekati kontrol 100% FC	Kombinasi ASE+K mampu meningkatkan jumlah buah secara nyata pada kondisi 50% FC, dan mampu mempertahankan pertumbuhan mendekati kondisi optimal 100% FC dibandingkan tanpa perlakuan.
3	(Alomari-Mheidat <i>et al.</i> , 2024), <i>Plants</i>	Tanpa perlakuan K spesifik	Kontrol (irigasi penuh) vs Defisit (berdasarkan pengukuran potensial air)	Jumlah buah per tandan dan jumlah tandan tidak berbeda nyata antara kontrol dan defisit	Ukuran buah menurun nyata pada cekaman; bobot total tidak berbeda nyata pada defisit moderat	Cekaman moderat tidak menurunkan jumlah buah namun menurunkan ukuran buah secara nyata
4	(Lestari <i>et al.</i> , 2023), <i>Jurnal Agro Indragiri</i>	KCl: K0=0 g/polybag; K1=6 g/polybag; K2=12 g/polybag (tanpa faktor defisit air)	Tanpa perlakuan defisit air (kondisi normal)	Terbaik pada perlakuan K2 (12 g/polybag) berbeda nyata dibanding K0 dan K1	Terbaik pada perlakuan asam humat 0,30 g/L + KCl 12 g/polybag (A2K2) tertinggi pada A2K2	Perlakuan K2 (12 g/polybag) menghasilkan jumlah dan bobot buah terbaik yang berbeda nyata dibandingkan K0 dan K1, dengan bobot buah per tanaman tertinggi diperoleh pada kombinasi A2K2.

Sumber: Diolah dari berbagai kajian literatur.

Tabel 3 memperlihatkan bahwa jumlah buah dan bobot buah tomat sangat dipengaruhi oleh kombinasi ketersediaan air dan suplai kalium selama fase generatif. Defisit air cenderung menurunkan produktivitas karena pembentukan dan pengisian buah berlangsung dalam kondisi pasokan air terbatas, tetapi dampaknya dapat berbeda menurut tingkat cekaman: pada cekaman moderat, beberapa studi masih menunjukkan hasil yang relatif stabil, sedangkan pada kondisi yang lebih berat penurunan ukuran atau bobot buah menjadi lebih nyata. Tabel ini juga menegaskan bahwa perlakuan kalium yang tepat dapat membantu mempertahankan komponen hasil, sebagaimana terlihat pada kombinasi kelembapan tanah dan dosis K tertentu yang menghasilkan performa buah terbaik, serta pada perlakuan kombinasi ASE + kalium yang mampu mendekati hasil pada kondisi defisit terhadap kontrol air optimum. Jadi, isi keseluruhan tabel mendukung pandangan bahwa produktivitas tomat pada lahan terbatas air ditentukan oleh kemampuan tanaman menjaga efisiensi penggunaan air dan translokasi fotosintat ke buah, dua proses yang sangat dipengaruhi oleh kecukupan kalium.

Tabel di atas juga memperlihatkan bahwa tidak semua penurunan air langsung menurunkan jumlah buah, karena pada beberapa kondisi defisit moderat jumlah buah atau bobot total dapat tetap mendekati kontrol, meskipun ukuran buah menurun. Ini berarti respons hasil bersifat bertahap: tanaman masih dapat menstabilkan jumlah buah pada cekaman tertentu, tetapi kualitas pengisian buah dan bobot akhirnya mulai tertekan ketika stres menjadi lebih berat. Pada kondisi tanpa defisit air, dosis K yang lebih tinggi juga berhubungan dengan jumlah dan bobot buah yang lebih baik, sehingga peran kalium di dalam tabel tidak hanya tampak sebagai pelindung saat stres, tetapi juga sebagai unsur penting pembentuk hasil optimal pada kondisi tumbuh normal. Dengan demikian, kesimpulan utama dari seluruh isi Tabel 3 adalah bahwa strategi produksi tomat yang efektif bukan sekadar menambah air atau pupuk secara terpisah, melainkan menyelaraskan dosis kalium dengan tingkat defisit air agar pembungaan, pembentukan buah, dan bobot hasil tetap terjaga.

Mekanisme fisiologis yang menjelaskan mengapa defisit air moderat dapat menstabilkan hasil tomat berkaitan erat dengan dinamika hubungan sumber-cerna atau *source-sink* dan peran kalium dalam aliran karbon. Pada kondisi defisit moderat, tanaman mengakumulasi osmotik seperti gula terlarut, prolin, dan ion K^+ sebagai mekanisme penyesuaian osmotik, sehingga tekanan turgor sel dapat dipertahankan cukup untuk memungkinkan pengisian buah berlanjut. Kondisi ini juga meningkatkan efisiensi penggunaan air (*water use efficiency*/WUE) karena berkurangnya transpirasi tidak selalu diikuti penurunan asimilasi karbon secara proporsional, terutama ketika stomata belum sepenuhnya menutup.

Kalium berperan sentral dalam proses ini karena memelihara tekanan turgor floem yang diperlukan untuk mendorong translokasi sukrosa dari daun (sumber) ke buah (cerna): pada kondisi defisit air, aktivitas enzim *sucrose phosphate synthase* (SPS) dan *sucrose synthase* (SuSy) meningkat signifikan dengan adanya kalium, sehingga aliran karbon menuju buah tetap berlangsung meski ketersediaan air terbatas (Luo *et al.*, 2021). Sebaliknya, pada defisit berat (<50% FC), penutupan stomata total menghambat fiksasi CO_2 , cadangan asimilat berkurang drastis, dan buah yang terbentuk tidak dapat mengisi secara optimal, dimana kondisi ini menjelaskan penurunan bobot buah yang jauh lebih besar dibandingkan defisit moderat, bahkan dengan suplai kalium yang cukup.

Hasil Kualitas Nutrisi Tanaman Tomat (Total Padatan Terlarut).

Interaksi antara ketersediaan air dan nutrisi kalium tidak hanya memengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman tomat, tetapi juga berperan dalam menentukan kualitas buah. Penurunan hasil akibat cekaman air tidak selalu diikuti penurunan mutu, karena pada tingkat cekaman tertentu buah tomat dapat mengalami peningkatan kandungan Total Padatan Terlarut (TPT) atau °Brix yang menjadi indikator kualitas dan rasa buah. TPT diukur menggunakan refraktometer dan menggambarkan konsentrasi gula, asam organik, mineral, serta senyawa terlarut lainnya dalam sari buah. Peningkatan nilai °Brix pada kondisi cekaman air ringan hingga sedang terjadi akibat berkurangnya kandungan air dalam buah yang menyebabkan konsentrasi zat terlarut meningkat (*concentration effect*), sehingga meskipun ukuran dan bobot buah menurun, kualitas rasa buah dapat meningkat. Oleh karena itu, evaluasi TPT penting dilakukan untuk melihat keseimbangan antara produktivitas dan mutu hasil tomat (Coyago-Cruz *et al.*, 2022).

Meskipun demikian, peningkatan TPT akibat cekaman air umumnya disertai dengan penurunan bobot buah. Kondisi ini menunjukkan adanya kompromi antara produktivitas dan kualitas. Pada tingkat cekaman yang

terlalu tinggi, peningkatan °Brix tidak mampu mengompensasi kehilangan hasil akibat berkurangnya ukuran dan jumlah buah. Oleh karena itu, sebagian besar penelitian menyarankan penggunaan defisit air ringan hingga sedang sebagai titik optimum, yaitu kondisi ketika peningkatan kualitas buah masih dapat dicapai tanpa menyebabkan penurunan hasil yang terlalu besar.

Kalium memiliki peran penting dalam mendukung proses perkembangan buah dan pembentukan kualitas hasil tanaman tomat, terutama melalui pengaruhnya terhadap akumulasi senyawa terlarut selama fase pengisian buah. Wu *et al.* (2023) menunjukkan bahwa pengelolaan ketersediaan air dan aplikasi kalium memengaruhi pertumbuhan buah tomat serta perubahan karakter fisiologis dan kualitas buah selama proses perkembangan. Pemberian kalium yang sesuai berkontribusi terhadap peningkatan akumulasi karbon dalam buah yang berhubungan dengan peningkatan kandungan padatan terlarut sebagai salah satu indikator kualitas buah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengaturan nutrisi kalium yang tepat, terutama ketika dikombinasikan dengan pengelolaan air yang sesuai, dapat membantu meningkatkan karakter kualitas buah tomat pada kondisi lingkungan yang mengalami keterbatasan air.

Defisit irigasi merupakan salah satu pendekatan pengelolaan air yang dapat memengaruhi karakter kualitas buah tomat, terutama melalui perubahan konsentrasi komponen terlarut dalam buah. Schmidt-Szantner *et al.* (2022) melaporkan bahwa penerapan strategi irigasi dengan pengurangan jumlah air pada tanaman tomat olahan memberikan pengaruh terhadap beberapa parameter kualitas buah, termasuk total padatan terlarut (°Brix) yang menjadi salah satu indikator penting dalam menentukan mutu hasil. Kondisi ketersediaan air yang terbatas dapat menyebabkan perubahan komposisi buah, termasuk peningkatan konsentrasi padatan terlarut akibat berkurangnya kandungan air dalam jaringan buah. Namun, tingkat defisit air tetap perlu dikelola dengan tepat karena cekaman yang terlalu tinggi dapat memberikan dampak negatif terhadap produktivitas tanaman.

Mekanisme di balik peningkatan °Brix oleh kalium berkaitan langsung dengan peran K^+ dalam sistem transpor fotosintat dari daun menuju buah. Kalium berfungsi sebagai kation utama yang memelihara gradien elektrokimia membran floem, sehingga proses pemuatan (loading) sukrosa ke dalam tabung floem di daun dan pembongkaran (*unloading*) sukrosa di buah berlangsung lebih efisien. Penelitian menggunakan model SUGAR pada tomat menunjukkan bahwa aplikasi kalium secara signifikan meningkatkan aliran karbon (C_{supply}) dari floem ke buah, sekaligus meningkatkan aktivitas enzim SPS dan SuSy pada daun maupun buah yang mendukung konversi dan akumulasi gula terlarut (Luo *et al.*, 2021).

Studi lanjutan oleh tim peneliti yang sama mengonfirmasi bahwa kombinasi irigasi defisit dan pemupukan kalium memengaruhi pertumbuhan buah serta aktivitas enzim terkait alokasi karbon dalam buah tomat, mendukung peran kalium dalam menjaga pasokan karbon ke buah meski dalam kondisi keterbatasan air (Wu *et al.*, 2023). Pada kondisi defisit air moderat, efek kalium dan kekeringan bersifat sinergis: kekeringan meningkatkan konsentrasi zat terlarut melalui '*concentration effect*', sementara kalium memastikan pasokan gula aktif dari daun tetap berlangsung, sehingga nilai °Brix meningkat melalui dua jalur sekaligus.

Dari perspektif agribisnis, peningkatan °Brix yang dihasilkan dari kombinasi defisit air moderat dan kalium optimal memiliki implikasi praktis yang berbeda tergantung segmen pasar. Untuk pasar buah segar, nilai °Brix yang lebih tinggi (di atas 4,5-5,0) meningkatkan penerimaan konsumen dan harga jual karena berkaitan langsung dengan rasa manis dan intensitas rasa buah.

Untuk industri pengolahan (saus, pasta tomat, atau jus), kadar padatan terlarut yang lebih tinggi juga menguntungkan karena mengurangi kebutuhan energi untuk evaporasi selama proses pengentalan. Dengan demikian, strategi defisit air moderat (50-80% FC) yang dikombinasikan dengan kalium optimal tidak hanya relevan secara agronomis, tetapi juga memiliki nilai tambah ekonomi bagi petani yang memproduksi tomat untuk segmen pasar premium atau agroindustri pengolahan (Coyago-Cruz *et al.*, 2022).

Tabel 4. Nilai TPT ($^{\circ}$ Brix) Bobot Buah Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) pada Berbagai Dosis Pupuk Kalium dan Tingkat Defisit Air Berdasarkan Kajian Literatur.

No	Peneliti (Tahun)	Dosis Kalium	Tingkat Defisit Air	Nilai TPT ($^{\circ}$ Brix)	Bobot Buah (g^{-1} buah)	Keterangan Utama
1	(Poomkokrak <i>et al.</i> , 2024), <i>Trends in Sciences</i>	NPK 16:16:16 seragam (tanpa ada perlakuan K)	T1: -4,9 kPa (irigasi harian); T2: -29,7 kPa (3 hari sekali); T3: -52,8 kPa (7 hari sekali)	TSS tertinggi pada T3 (defisit berat) yaitu, 7,69 \pm 0,43	Bobot buah tertinggi diperoleh pada cekaman sedang (8,99 \pm 0,57)	Cekaman kekeringan yang lebih tinggi meningkatkan TSS ($^{\circ}$ Brix) buah tomat ceri, tetapi menyebabkan penurunan bobot buah. Biochar pada defisit air sedang (60% ETc) meningkatkan TSS buah secara nyata, tetapi cekaman air yang semakin tinggi cenderung menurunkan bobot buah.
2	(Obadi <i>et al.</i> , 2024), <i>Plants</i>	Aplikasi biochar, (tanpa perlakuan K tunggal)	40% ETc; 60% ETc; 80% ETc; 100% ETc	TSS meningkat 99,75% pada 60% ETc + biochar (5%), air salin (2,3 dS m^{-1}) vs kontrol	Bobot buah menurun seiring peningkatan defisit (189,37-110,92 g^{-1} buah)	Aplikasi kalium 300 ppm dan interval 7-14 hari meningkatkan $^{\circ}$ Brix dan bobot buah, dengan hasil terbaik umumnya pada 300 ppm
3	(Sağlam & Ünver, 2024), <i>Bahçe</i>	Pupuk kalium foliar: 100, 200, 300, 400, 500 ppm; interval 7, 14, 21 hari; terbaik 300 ppm dan 7 hari	Tidak diteliti defisit air secara langsung	$^{\circ}$ Brix terbaik 5,24 pada 300 ppm; 5,11 pada interval 7 hari	Bobot buah tertinggi 104,52 g pada 300 ppm; interaksi tertinggi 106,59 g pada 7 hari + 300 ppm	Defisit air cenderung meningkatkan $^{\circ}$ Brix, dan kombinasi air sangat rendah dengan P tinggi memberi nilai Brix tertinggi.
4	(Schmidt-Szantner <i>et al.</i> , 2022), <i>Acta Horticulturae</i>	0%, 50%, 75%, 100% potassium (kalium)	0%, 50%, 75%, 100% ETc sampai awal pemasakan	Brix tertinggi pada 0% W 100%P; terendah pada 75% W 50%P	Bobot buah tidak dirinci	

Sumber: Diolah dari berbagai kajian literatur.

Berdasarkan tabel 4 menunjukkan bahwa nilai total padatan terlarut (TPT/ $^{\circ}$ Brix) cenderung meningkat ketika tanaman mengalami defisit air, terutama pada tingkat cekaman ringan hingga sedang, karena berkurangnya kandungan air dalam buah meningkatkan konsentrasi gula, asam organik, dan senyawa terlarut lainnya. Akan tetapi, peningkatan mutu kimia buah ini umumnya diikuti oleh penurunan bobot buah, sehingga tabel memperlihatkan adanya trade-off yang jelas antara kualitas rasa dan kuantitas hasil. Data pada berbagai studi di dalam tabel mendukung pola tersebut: defisit air yang lebih berat dapat menghasilkan TSS tertinggi, tetapi bobot buah justru turun, sedangkan defisit sedang sering menjadi titik kompromi yang lebih baik antara kenaikan $^{\circ}$ Brix dan kehilangan hasil. Dengan demikian, isi tabel menegaskan bahwa mutu buah tomat tidak dapat dinilai hanya dari $^{\circ}$ Brix yang tinggi, karena nilai tersebut harus dibaca bersama perubahan bobot buah sebagai indikator keberhasilan pengisian buah.

Kalium berperan penting dalam memperbaiki mutu buah, terutama melalui dukungannya terhadap akumulasi senyawa terlarut dan perkembangan buah selama fase pengisian. Aplikasi kalium foliar pada dosis optimum, seperti 300 ppm, dikaitkan dengan $^{\circ}$ Brix dan bobot buah yang lebih baik, sedangkan kombinasi pengelolaan air dan kalium pada studi lain menghasilkan nilai Brix tertinggi pada perlakuan air rendah dengan suplai kalium tinggi. Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa kalium tidak hanya membantu meningkatkan rasa dan mutu internal buah, tetapi juga membantu menjaga agar peningkatan $^{\circ}$ Brix tidak selalu dibayar dengan penurunan hasil yang terlalu besar. Oleh karena itu, keseluruhan isi Tabel 4 dapat disimpulkan sebagai bukti bahwa kombinasi defisit air terkontrol dan pemupukan kalium yang tepat merupakan pendekatan paling rasional untuk memperoleh buah tomat dengan mutu tinggi sambil tetap menekan kehilangan bobot hasil pada batas yang dapat diterima.

Analisis Interaksi dan Optimasi.

Cekaman kekeringan menjadi salah satu faktor pembatas utama dalam produksi tanaman karena dapat mengganggu proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kumar & Sindhu (2024) menjelaskan bahwa peningkatan toleransi tanaman terhadap kekeringan dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan agronomis dan biologis, salah satunya melalui pengelolaan nutrisi tanaman untuk memperbaiki kemampuan tanaman dalam menghadapi kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Dalam konteks tersebut, ketersediaan kalium menjadi

salah satu faktor penting karena unsur ini berperan dalam mendukung berbagai fungsi fisiologis tanaman selama mengalami cekaman. Oleh karena itu, pengelolaan kalium yang tepat dapat menjadi salah satu strategi pendukung dalam mempertahankan performa tanaman pada kondisi keterbatasan air.

Pada lahan kering dengan tanah berkesuburan rendah seperti Podsolik Merah Kuning (PMK) yang umum dijumpai di Sumatera dan Kalimantan, efektivitas kalium sangat dipengaruhi oleh kondisi bahan organik tanah. Interaksi pemberian asam humat dan pupuk KCl berpengaruh nyata terhadap semua parameter pengamatan pada tanaman tomat ceri di tanah PMK, yaitu tinggi tanaman, diameter batang, jumlah buah per tanaman, jumlah cabang produktif, dan bobot buah per tanaman; dosis terbaik untuk interaksi keduanya adalah asam humat 0,30 g/L dikombinasikan dengan KCl 12 g/polybag (Lestari *et al.*, 2023). Temuan ini menegaskan bahwa pada lahan kering berkesuburan rendah, optimasi kalium harus dilakukan bersamaan dengan perbaikan bahan organik tanah, bukan sebagai perlakuan tunggal karena bahan organik memperbaiki kapasitas pegang air tanah sehingga ion K^+ dapat diserap lebih efisien oleh akar bahkan pada kondisi kelembaban tanah yang rendah.

Implikasi Agronomis: Rekomendasi Pemupukan dan Aplikasi di Lahan Kering.

Sintesis seluruh hasil kajian menunjukkan tiga pola integratif yang konsisten. Pertama, defisit air moderat (50-80% kapasitas lapang) yang dikombinasikan dengan kalium optimal (100-120 kg K_2O ha⁻¹) cenderung menghasilkan respons terbaik: KAR dan tinggi tanaman dapat dipertahankan mendekati kontrol, komponen hasil relatif stabil, dan TPT meningkat akibat efek konsentrasi sehingga menghasilkan buah dengan mutu lebih tinggi meski bobot sedikit berkurang. Kedua, defisit air berat (<50% FC) menurunkan semua parameter pertumbuhan dan produktivitas secara nyata meskipun kalium diberikan pada dosis optimal, karena pada kondisi ini tekanan osmotik dan oksidatif melampaui kapasitas penyangga ion K^+ sehingga aktivitas fotosintesis dan alokasi fotosintat ke buah terganggu secara fundamental. Ketiga, fase pembungaan dan pembentukan buah merupakan fase paling sensitif terhadap kombinasi defisit air dan kalium: cekaman pada fase ini mengakibatkan penurunan jumlah dan bobot buah yang paling besar, sedangkan pemberian kalium yang tepat pada fase ini memberikan dampak protektif paling signifikan terhadap hasil akhir (J. Liu *et al.*, 2019; Cui *et al.*, 2020).

Kajian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan. Variasi varietas tomat antar studi cukup besar, mulai dari varietas komersial modern hingga genotipe lokal, sehingga respons terhadap defisit air dan kalium tidak dapat digeneralisasi lintas varietas. Kondisi percobaan yang beragam (rumah kaca dengan pot/polybag hingga lapangan terbuka) membatasi komparabilitas langsung antar studi karena dinamika air tanah, suhu, dan kelembaban berbeda signifikan. Selain itu, bentuk dan metode aplikasi kalium yang bervariasi (K_2O , KCl, KNO_3 , foliar, atau fertigasi) membuat efisiensi serapan dan respons tanaman tidak dapat dibandingkan secara setara. Oleh karena itu, rekomendasi yang dihasilkan bersifat indikatif dan memerlukan validasi eksperimental lanjutan, terutama pada lahan kering tropis Indonesia.

Menurut Gunawan *et al.* (2019), penetapan rekomendasi dosis kalium (K) berdasarkan uji tanah untuk tanaman tomat pada tanah Andisol belum banyak dikaji di Indonesia.” Penelitian tersebut dilakukan untuk menentukan kebutuhan pupuk K berdasarkan status hara tanah melalui tahapan uji korelasi, kalibrasi, dan penentuan rekomendasi pemupukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rekomendasi dosis kalium perlu mempertimbangkan tingkat ketersediaan K dalam tanah, karena kebutuhan tanaman berbeda pada setiap kondisi kesuburan tanah. Dengan demikian, penetapan dosis K melalui uji tanah menjadi pendekatan penting dalam budidaya tomat karena mampu menghasilkan pemupukan yang lebih tepat, meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, serta mengurangi risiko pemberian K secara berlebihan yang tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman.

Pengelolaan air menjadi salah satu aspek penting dalam budidaya tanaman pada lingkungan dengan keterbatasan ketersediaan air. Mukherjee *et al.* (2023) menunjukkan bahwa penerapan irigasi defisit pada tanaman tomat dapat memengaruhi respons pertumbuhan dan hasil tanaman, sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan air dibandingkan dengan pemberian air secara penuh. Pendekatan irigasi defisit memungkinkan pengurangan penggunaan air dengan tetap mempertahankan produktivitas tanaman apabila tingkat cekaman yang diberikan masih berada dalam batas toleransi tanaman. Pengaturan jumlah dan waktu pemberian air menjadi salah satu strategi penting dalam mendukung budidaya tomat pada kondisi lahan kering.

Pemupukan kalium merupakan salah satu faktor penting dalam meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman tomat karena ketersediaan unsur K berhubungan dengan proses perkembangan vegetatif maupun pembentukan hasil. Ambarwati *et al.* (2020) menunjukkan bahwa pemberian pupuk kalium pada tanaman tomat memberikan pengaruh terhadap karakter pertumbuhan dan komponen hasil tanaman. Respons tanaman terhadap pemberian kalium menunjukkan bahwa dosis pupuk yang sesuai diperlukan untuk memperoleh pertumbuhan dan produksi yang optimal. Oleh karena itu, rekomendasi pemupukan kalium perlu mempertimbangkan kebutuhan tanaman dan kondisi lingkungan budidaya agar penggunaan pupuk menjadi lebih efektif.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, cekaman kekeringan menyebabkan penurunan status hidrasi tanaman, pertumbuhan vegetatif, serta produktivitas tomat, dengan tingkat penurunan yang semakin besar seiring meningkatnya intensitas defisit air. Pemberian kalium berperan dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap kondisi tersebut melalui pengaturan keseimbangan osmotik, pemeliharaan fungsi stomata, peningkatan aktivitas fisiologis, serta mendukung translokasi fotosintat menuju buah, sehingga mampu mempertahankan pertumbuhan dan hasil tanaman dibandingkan tanpa pemberian kalium.

Kombinasi defisit air moderat (50–80% kapasitas lapang) dengan pemupukan kalium yang tepat memberikan respons paling optimal, ditandai dengan kemampuan mempertahankan kandungan air relatif, pertumbuhan vegetatif, dan komponen hasil, serta meningkatkan kualitas buah yang ditunjukkan oleh nilai total padatan terlarut ($^{\circ}$ Brix). Sebaliknya, defisit air yang terlalu berat tetap menyebabkan penurunan produktivitas meskipun tersedia kalium. Oleh karena itu, pengelolaan air secara terkontrol yang dipadukan dengan pemupukan kalium sesuai kebutuhan tanaman merupakan strategi yang berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan air, produktivitas, dan mutu buah tomat pada budidaya di lahan kering.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil kajian, pengelolaan budidaya tomat di lahan kering disarankan menerapkan strategi defisit air moderat yang dipadukan dengan pemupukan kalium sesuai kebutuhan tanaman dan kondisi lahan, karena kombinasi tersebut berpotensi mempertahankan pertumbuhan, produktivitas, dan kualitas buah secara lebih optimal dibandingkan penerapan masing-masing perlakuan secara terpisah. Selain itu, penelitian eksperimental lebih lanjut masih diperlukan untuk menguji efektivitas berbagai dosis, sumber, dan metode aplikasi kalium pada berbagai varietas tomat serta kondisi agroekosistem lahan kering di Indonesia. Penelitian selanjutnya juga disarankan mengevaluasi aspek efisiensi penggunaan air, efisiensi serapan kalium, dan analisis kelayakan ekonomi sehingga dapat menghasilkan rekomendasi budidaya yang lebih aplikatif bagi petani.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelaziz, M. E. (2018). Foliar Potassium and Zinc Stimulates Tomato Growth, Yield And Enzymes Activity to Tolerate Water Stress in Soilless Culture. *Science and Technology*, 16(2), 113–118.
- Adi, D. D., Ngajang, O. O. Y. S., Jaya, E. S., Maya, M. A., Adur, A., & Karno, Y. (2024). Respon Pertumbuhan Tomat (*Lycopersicum Esculentum*) pada Berbagai Jenis Mulsa dan Frekuensi Penyiraman di Kwt La'o. *Agrivet*, 6(2), 117–128. <https://doi.org/10.51158/agrivet.v6i2.1104>
- Ahmed, M., Ullah, H., Himanshu, S. K., García-Caparrós, P., Tisarum, R., Cha-um, S., & Datta, A. (2024). *Ascophyllum Nodosum* Seaweed Extract and Potassium Alleviate Drought Damage in Tomato by Improving Plant Water Relations, Photosynthetic Performance, and Stomatal Function. *Journal of Applied Phycology*, 36(4), 2255–2268. <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03266-2>
- Alomari-Mheidat, M., Corell, M., Martín-Palomo, M. J., Castro-Valdecantos, P., Medina-Zurita, N., de Sosa, L. L., & Moriana, A. (2024). Moderate Water Stress Impact on Yield Components of Greenhouse Tomatoes in Relation to Plant Water Status. *Plants (Basel, Switzerland)*, 13(1), 128. <https://doi.org/10.3390/plants13010128>
- Alordzinu, K. E., Appiah, S. A., AL Aasmi, A., Darko, R. O., Li, J., Lan, Y., Adjibolosoo, D., Lian, C., Wang, H., Qiao, S., & Liao, J. (2022). Evaluating the Influence of Deficit Irrigation on Fruit Yield and Quality Indices of Tomatoes Grown in Sandy Loam and Silty Loam Soils. *Water*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/w14111753>

- Ambarwati, D. T., Syuriani, E. E., & Pandu Pradana, O. C. (2020). Uji Respon Dosis Pupuk Kalium terhadap Tiga Galur Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) di Lahan Politeknik Negeri Lampung. *J-Plantasimbiosa*, 2(1). <https://doi.org/10.25181/jplantasimbiosa.v2i1.1608>
- Atilgan, A., Rolbiecki, R., Saltuk, B., Jagosz, B., Arslan, F., Erdal, I., & Aktas, H. (2022). Deficit Irrigation Stabilizes Fruit Yield and Alters Leaf Macro and Micronutrient Concentration in Tomato Cultivation in Greenhouses: A Case Study in Turkey. *Agronomy*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy12122950>
- Çelik, Ö., Ayan, A., & Atak, Ç. (2017). Enzymatic And Non-Enzymatic Comparison of Two Different Industrial Tomato (*Solanum Lycopersicum*) Varieties Against Drought Stress. *Botanical Studies*, 58(1), 32. <https://doi.org/10.1186/s40529-017-0186-6>
- Coyago-Cruz, E., Corell, M., Moriana, A., Hernanz, D., Stinco, C. M., Mapelli-Brahm, P., & Meléndez-Martínez, A. J. (2022). Effect of Regulated Deficit Irrigation on Commercial Quality Parameters, Carotenoids, Phenolics and Sugars of the Black Cherry Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) ‘Sunchocola’. *Journal of Food Composition and Analysis*, 105, 104220. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104220>
- Cui, J., Shao, G., Lu, J., Keabetswe, L., & Hoogenboom, G. (2020). Yield , Quality and Drought Sensitivity of Tomato to Water Deficit During Different Growth Stages. *Scientia Agricola*, 77(2), 1–9. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0390>
- De Luca, A., Corell, M., Chivet, M., Parrado, M. A., Pardo, J. M., & Leidi, E. O. (2021). Reassessing the Role of Potassium in Tomato Grown with Water Shortages. *Horticulturae*, 7(2), 20. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7020020>
- Fang, S., Yang, H., Wei, G., Shen, T., Wan, Z., Wang, M., Wang, X., & Wu, Z. (2022). Potassium Application Enhances Drought Tolerance in Sesame by Mitigating Oxidative Damage and Regulating Osmotic Adjustment. *Frontiers in Nutrition*, 13(1096606), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1096606>
- Farzane, A., Nemati, H., Shoor, M., & Ansari, H. (2020). Foliar Application of Potassium on Antioxidant Enzyme Activities of Tomato Plants Under Drought Stress. *Advances in Horticultural Science*, 35(1), 3–9. <https://doi.org/10.36253/ahsc-8468>
- Gunawan, E., Susila, A., Sutandi, A., & Santosa, E. (2019). Penetapan Metode Ekstraksi Kalium Terbaik untuk Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) pada Tanah Andisol. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 10, 173–181. <https://doi.org/10.29244/jhi.10.3.173-181>
- He, L., & Rosa, L. (2023). Solutions to Agricultural Green Water Scarcity Under Climate Change. *PNAS Nexus*, 2(4), 1–11. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad117>
- Kumar, S., & Sindhu, S. S. (2024). Current Research in Microbial Sciences Drought stress mitigation through bioengineering of microbes and crop varieties for sustainable agriculture and food security. *Current Research in Microbial Sciences*, 7(October), 100285. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100285>
- Lestari, S. U., Sari, V. I., & Hidayat, M. W. (2023). Peran Asam Humat dan Pemberian KCL terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Tomat Ceri (*Solanum Lycopersicum* Var. Cerasiforme) pada Tanah PMK. *Jurnal Agro Indragiri*, 9(2), 49–57. <https://doi.org/10.32520/jai.v4i1>
- Luo, A., Zhou, C., & Chen, J. (2021). The Associated With Carbon Conversion Rate and Source–Sink Enzyme Activity in Tomato Fruit Subjected to Water Stress and Potassium Application. *Frontiers in Plant Science*, 12(681145). <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.681145>
- Mostofa, M. G., Rahman, M. M., Ghosh, T. K., Kabir, A. H., Abdelrahman, M., Rahman Khan, M. A., Mochida, K., & Tran, L.-S. P. (2022). Potassium in Plant Physiological Adaptation to Abiotic Stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 186, 279–289. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.07.011>
- Mukherjee, S., Dash, P. K., Das, D., & Das, S. (2023). Growth, Yield and Water Productivity of Tomato as Influenced by Deficit Irrigation Water Management. *Environmental Processes*, 10(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s40710-023-00624-z>
- Munns, R., & Millar, A. H. (2023). Seven Plant Capacities to Adapt to Abiotic Stress. *Journal of Experimental Botany*, 74(15), 4308–4323. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad179>
- Mustafa, M., Mwangi, R. W., Szalai, Z., Kappel, N., & Csambalik, L. (2025). Sustainable Responses to Open Field Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) Stress Impacts. *Journal of Agriculture and Food Research*, 21(101825). <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101825>

- Obadi, A., Alharbi, A., Alomran, A., Alghamdi, A. G., Louki, I., Alkhasha, A., & Alqardaei, T. (2024). Enhancement in Tomato Yield and Quality Using Biochar Amendments in Greenhouse under Salinity and Drought Stress. *Plants (Basel, Switzerland)*, *13*(12). <https://doi.org/10.3390/plants13121634>
- Patanè, C., Cosentino, S. L., Romano, D., & Toscano, S. (2022). Relative Water Content, Proline, and Antioxidant Enzymes in Leaves of Long Shelf-Life Tomatoes under Drought Stress and Rewatering. *Plants*, *11*(22). <https://doi.org/10.3390/plants11223045>
- Permatasari, N. A., Pöhl, T., & Neugart, S. (2026). Impact of Drought, Salinity, and Their Combination on Growth, Mineral Content, and Plant Secondary Metabolites of Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). *Physiologia Plantarum*, *171*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1111/ppl.70725>
- Poomkokrak, J., Sanevas, N., & Rungwattana, K. (2024). Fruit Quality and Plant Productivity of A Cherry Tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) Grown under Different Irrigation Regimes during the Reproductive Phase. *Trends in Sciences*, *21*(6), 7589. <https://doi.org/10.48048/tis.2024.7589>
- Sağlam, N., & Ünver, Ş. (2024). Sanayilik Domatesin °Briks Değeri ve Salça Verimi Üzerine Potasyum Uygulamalarının Etkisi TT - Effect of Potassium Applications on °Brix Value and Paste Yield of Industrial Tomato. *Bahçe*, *53*(Özel Sayı 1), 214–220. <https://doi.org/10.53471/bahce.1508940>
- Sahoo, D., Sahoo, D., Tripathy, P., Das, S., Mohanty, S. K., Sahoo, S. K., & Bhol, R. (2025). Drought Mitigating Impact of Foliar Application of Salicylic Acid and KNO₃ on Growth, Yield and Yield Attributing Characters of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under Water Stress Conditions. *Agricultural Science Digest*, *45*(2025), 85–90. <https://doi.org/10.18805/ag.D-6080.Submitted>
- Santo, N., Russo, I., & Sisto, R. (2022). Climate Change and Natural Resource Scarcity: A Literature Review on Dry Farming. *Land*, *11*(12), 1–25. <https://doi.org/10.3390/land11122102>
- Schmidt-Szantner, B., Ágei, M., Takács, S., Helyes, L., Ilahy, R., & Páók, Z. (2022). The Effect of Deficit Irrigation in Processing Tomato for the Important Industrial Parameters. *Acta Horticulturae*, *1351*, 25–32. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1351.5>
- Tavakol, E., Jákl, B., Cakmak, I., Dittert, K., & Senbayram, M. (2021). Optimization of Potassium Supply under Osmotic Stress Mitigates Oxidative Damage in Barley. *Plants (Basel, Switzerland)*, *11*(1). <https://doi.org/10.3390/plants11010055>
- Temur, B., Akhoundnejad, Y., Nas, Y., & Ersoy, L. (2023). Effect of Different Potassium Fertilizers on Yield and Quality of Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) Under Drought Stress Conditions. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, *7*(4), 761–769. <https://doi.org/10.31015/jaefs.2023.4.5>
- Turan, M., Ekinci, M., Argin, S., Brinza, M., & Yildirim, E. (2023). Drought Stress Amelioration in Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) Seedlings by Biostimulant as Regenerative Agent. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1211210. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1211210>
- Wadood, A., Hameed, A., Akram, S., & Ghaffar, M. (2024). Unraveling the Impact of Water Deficit Stress on Nutritional Quality and Defense Response of Tomato Genotypes. *Frontiers in Plant Science, Volume 15-2024*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1403895>
- Wu, C., Zhang, X., Zhou, C., & Luo, A. (2023). Fruit Growth, Carbon Allocation, and Related Enzymes in Tomato Under Different Irrigation and Potassium Application Regimes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *186*(1), 50–64. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200195>
- Xu, Q., Fu, H., Zhu, B., Hussain, H. A., Zhang, K., & Tian, X. (2021). Potassium Improves Drought Stress Tolerance in Plants by Affecting Root Morphology, Root Exudates, and Microbial Diversity. *Metabolites*, *11*(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/metabo11030131>
- Zahedifar, M., Moosavi, A. A., & Gavili, EdrisErshadi, A. (2025). Tomato Fruit Quality and Nutrient Dynamics Under Water Deficit Conditions: The Influence of an Organic Fertilizer. *PLOS ONE*, *20*(1), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0310916>