

Aplikasi Pupuk Silika untuk Meningkatkan Ketahanan Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum annuum* L.) terhadap Stres Genangan

The Application of Silica Fertilizer to Increase Resistance of Chili Pepper Plant (Capsicum annuum L.) to Waterlogging Stress

Luhur Alif Budinuljanto Zainul¹, Sigit Soeparjono^{1*}, dan Tri Candra Setiawati²

¹Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember

²Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Jember
Jl. Kalimantan Tegalboto No. 37, Krajan Timur, Sumbersari, Kec. Sumbersari
Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121, Indonesia.

Diterima 23 Maret 2022/Disetujui 1 Agustus 2022

ABSTRACT

Chili pepper (Capsicum annuum L.) is a horticultural commodity widely cultivated in paddy fields, and often suffers from waterlogging stress due to flooding. One effort to overcome this problem is silica nutrients application. This study aimed to determine the role of silica in increasing chili pepper tolerance to waterlogging stress. The experiment was carried out in a greenhouse owned by Universal PT Tempu Rejo, Jember, East Java from October to December 2021. The study was carried out using a factorial completely randomized design (4x4) with 3 replications. The first factor was the silica fertilizer dose, D0 = 0 mL, D1 = 0.15 mL, D2 = 0.30 mL, and D3 = 0.45 mL per plant. The second factor was waterlogging stress, W1 = 50-70%, W2 = >70-90%, W3 = >90-110%, and W4 = >110-130% field capacity. The results showed that the effect of interaction between silica dose and waterlogging stress treatments was not significant on plant height, leaf number, and leaf area, but was significant on the relative water content, H₂O₂, proline, and chlorophyll content. Silica fertilizer was able to increase chili pepper resistance against waterlogging stress as indicated by a positive correlation between silica and chlorophyll and proline content and a negative correlation between silica and H₂O₂.

Keywords: chlorophyll, hydrogen peroxide, proline, vegetative stage

ABSTRAK

Tanaman cabai rawit (Capsicum annuum L.) merupakan komoditas hortikultura yang banyak dibudidayakan di lahan sawah, namun sering mengalami cekaman genangan air akibat banjir. Upaya untuk mengatasi kendala tersebut yaitu dengan aplikasi unsur hara silika. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peran silika dalam meningkatkan toleransi cabai rawit terhadap cekaman genangan. Percobaan dilakukan di rumah kaca milik Universal PT Tempu Rejo, Kabupaten Jember, Jawa Timur mulai bulan Oktober sampai dengan Desember 2021. Penelitian dilaksanakan menggunakan rancangan acak lengkap faktorial (4x4) dengan 3 ulangan. Faktor pertama adalah dosis pupuk silika yaitu D0 = 0 mL, D1 = 0.15 mL, D2 = 0.30 mL, dan D3 = 0.45 mL per tanaman. Faktor kedua adalah cekaman genangan yaitu W1 = 50-70%, W2 = >70-90%, W3 = >90-110%, dan W4 = >110-130% dari kapasitas lapang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi antara perlakuan dosis silika dengan cekaman genangan tidak berpengaruh nyata pada peubah tinggi tanaman, jumlah daun dan luas daun, namun berpengaruh nyata pada peubah kadar air relatif, kandungan H₂O₂, prolin dan klorofil. Pupuk silika mampu meningkatkan ketahanan tanaman cabai rawit terhadap cekaman genangan ditunjukkan dengan korelasi positif antara silika dengan klorofil dan prolin serta korelasi negatif antara silika dengan kandungan H₂O₂.

Kata kunci: fase vegetatif, hidrogen peroksida, klorofil, prolin

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: s.soeparjono@gmail.com

PENDAHULUAN

Tanaman cabai rawit (*Capsicum annuum* L.) merupakan salah satu komoditas pertanian yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Menurut (Sumarna, 1998), tanaman cabai merupakan tanaman yang sangat sensitif terhadap kelebihan air. Kondisi kelebihan air dapat menyebabkan tanaman mengalami titik kritis pertumbuhan, yaitu tanaman akan mengalami penurunan proses fisiologi yang akhirnya mempengaruhi pertumbuhan dan hasil. Keadaan tersebut sering terjadi akibat pengaruh rhizosfer yang jenuh air (*water-saturated rhizosphere*), sehingga mengakibatkan seluruh pori di dalam tanah terisi oleh air dan muncul keadaan *hypoxia* (Siaga *et al.*, 2019).

Stabilitas hasil dan pertumbuhan yang sehat karena cekaman abiotik menjadi tantangan bagi petani. Tanaman merubah beberapa mekanisme untuk dapat hidup pada kondisi cekaman, dan hanya tanaman sehat yang mampu bertahan dalam kondisi cekaman. Unsur hara mikro berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman pada kondisi tercekam biotik dan abiotik (Chen *et al.*, 2018). Nutrisi yang tersedia bagi tanaman menjadi kunci agar tanaman tumbuh sehat dan lebih tahan untuk menghadapi cekaman.

Salah satu unsur hara yang dapat mengatasi permasalahan tersebut adalah silika. Silika merupakan salah satu unsur hara mikro yang dapat meningkatkan tingkat toleransi tanaman pada kondisi cekaman. Zargar *et al.*, (2019) menyebutkan bahwa silika dapat disebut sebagai *multi-talented micronutrient* karena memberikan beberapa keunggulan pada pertumbuhan tanaman yang mengalami cekaman. Sudradjat *et al.*, (2016) menyatakan bahwa silika mempunyai peran penting dalam proses fisiologi dan ketahanan tanaman. Silika yang diaplikasikan pada tanaman cabai akan mempercepat pembungaan cabai sebesar 16% dan meningkatkan jumlah buah sebesar 36% (Norhasanah, 2012). Pemberian silika sebanyak 1 g kg⁻¹ dapat mengurangi kerusakan oksidatif pada tanaman yang tercekam genangan. Silika akan berperan dalam penebalan epidermis, aktivasi fungsional organel, mengoptimalkan transport hara dan distribusi proses metabolisme dan menekan masuknya unsur toksik oleh akar (Balakhnina *et al.*, 2012). Aplikasi silika diharapkan dapat meningkatkan ketahanan tanaman cabai terhadap cekaman genangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh aplikasi silika dalam meningkatkan ketahanan tanaman cabai terhadap cekaman genangan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di rumah kaca yang bertempat di kebun percobaan milik Universal PT Tempu Rejo, Kecamatan Balung, Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur pada bulan Oktober sampai dengan Desember 2021. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih cabai rawit komersial varietas Bangkok Ijo, pupuk silika cair dengan kandungan Si sebesar 26%, pupuk NPK 16-16-16, pupuk SP-36 dan pupuk kompos. Alat yang digunakan yaitu *pottray* untuk pembibitan, timbangan analitik, timbangan duduk digital untuk mengukur berat media, oven

untuk mengukur bobot kering daun, spektrofotometer untuk menilai absorbansi, sentrifuge, dan mortar untuk menggerus daun.

Perlakuan Dosis Pupuk Silika dan Cekaman Genangan

Rancangan percobaan yang digunakan yaitu rancangan acak lengkap faktorial dengan 3 ulangan. Faktor pertama adalah dosis pupuk silika yang terdiri atas 4 taraf yaitu D0, D1, D2, dan D3 masing-masing dengan dosis silika sebesar 0 mL, 0.15 mL, 0.3 mL, dan 0.45 mL per tanaman. Faktor kedua adalah cekaman genangan terdiri dari 4 taraf yaitu W1 = 50-70%, W2 = >70-90%, W3 = >90-110%, dan W4 = >110-130% dari kapasitas lapang.

Kapasitas lapang ditetapkan berdasarkan metode Haridjaja *et al.* (2013) dengan menimbang polibag berisi tanah kering angin sebagai berat awal (KA_{awal}) kemudian merendam polibag berisi tanah tersebut ke dalam air selama 12 jam. Selanjutnya polibag berisi tanah ditiriskan dan dibiarkan selama 2 hari hingga tidak ada tetesan air. Setelah itu, polibag ditimbang kembali dan ditetapkan sebagai keadaan kapasitas lapang 100% (KAKL). Berdasarkan metode tersebut, penambahan kadar air pada *polybag* dilakukan dengan formulasi sebagai berikut:

Kadar air yang ditambahkan = perlakuan cekaman x (KAKL-KA_{awal})

Bitbit cabai yang telah disemai selama 40 hari digunakan sebagai tanaman percobaan. Pupuk kompos sebanyak 480 g per tanaman dan SP-36 sebesar 20 g per tanaman diaplikasikan 7 hari sebelum tanam sebagai pupuk dasar. Pupuk NPK 16-16-16 diaplikasikan sebanyak 16 g per tanaman pada umur 7 HST. Pupuk silika yang digunakan merupakan silika cair (*ortho silikat*) dan diaplikasikan satu kali selama percobaan. Dosis pupuk silika masing-masing diencerkan dalam 50 ml air dan diaplikasikan pada tanaman berumur 7 HST dengan cara dikocor pada tanah dalam polibag. Perlakuan penggenangan dilakukan selama 2 hari pada tanaman berumur 18-20 hari setelah tanam (HST).

Peubah Pengamatan

Peubah yang diamati yaitu kandungan silika jaringan pada akar dan daun (%), tinggi tanaman (cm), jumlah daun (helai), luas daun (cm²), kadar air relatif daun (%), kandungan hidrogen peroksida sebagai ROS (μmol g⁻¹), kandungan prolin (μmol g⁻¹) dan kandungan klorofil (mg g⁻¹ berat segar). Tinggi tanaman, jumlah daun dan luas daun diamati pada umur 30 HST. Tinggi tanaman diukur dengan menggunakan penggaris dan jumlah daun dihitung menggunakan alat penghitung (*hand tally counter*). Luas daun dilakukan dengan cara memotong seluruh daun pada tanaman kemudian diletakkan berurutan. Lalu, diletakkan skala disebelah daun dan difoto menggunakan kamera digital. Hasil gambar dianalisis menggunakan aplikasi ImageJ untuk menentukan luas area daun. Pengukuran kandungan silika pada jaringan akar dan daun diukur menggunakan metode Gravimetri (Pratomo *et al.*, 2013). Pengukuran kandungan H₂O₂ menggunakan metode dari Junglee *et*

al., (2014). Pengukuran H_2O_2 dilakukan ketika tanaman berumur 20 HST. Sampel daun segar sebanyak 0.1 g digerus dan diberi larutan TCA 0.1%, kemudian disentrifuse pada 1,200 rpm dan diambil supernatannya untuk diinkubasi selama 30 menit setelah ditambahkan buffer fosfat dan kalium iodida. Larutan diukur absorbansinya pada 390 nm. Pengukuran kadar prolin dilakukan berdasarkan metode dari Bates, (1973). Sampel diambil ketika tanaman berumur 20 HST. Sampel daun segar sebanyak 100 mg diekstraksi dan kemudian ditambahkan sulfosalicylic acid 3%. Pengukuran prolin menggunakan metode spektrofotometri dengan panjang gelombang 520 nm menggunakan toluene. Analisis klorofil total berdasarkan metode dari Ritchie (2006), dilakukan pada tanaman berumur 30 HST menggunakan ethanol sebagai bahan pengekstrak. Daun segar 0.05 g dihancurkan menggunakan mortar kemudian diberi larutan ethanol 90% dan diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 665 nm dan 649 nm. Kadar air relatif daun diukur ketika tanaman berumur 20 HST. Daun ketiga dari atas dan berbentuk sempurna dipotong lalu ditimbang untuk mendapatkan berat segar daun (FW). Kemudian daun direndam dalam air distilasi selama 6 jam dan ditetapkan sebagai berat basah daun (TW). Daun lalu dioven hingga kering selama 24 jam menggunakan oven bersuhu 70 °C dan ditetapkan sebagai berat kering daun (DW). Metode pengukuran kadar air relative mengacu pada Chen *et al.* (2018), dengan formulasi untuk kadar air relatif yaitu.

$$\text{Kadar Air Relatif} = \frac{(\text{FW} - \text{DW})}{(\text{TW} - \text{DW})} \times 100\%$$

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan *analysis of variance*. *Duncan's multiple range test* (DMRT) pada taraf 5% digunakan sebagai uji lanjut apabila perlakuan berpengaruh nyata. Data analisis kandungan silika dalam jaringan akar dan daun dilakukan secara komposit sehingga data disajikan secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Silika pada Jaringan Akar dan Daun

Analisis kandungan silika pada jaringan akar dan daun dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak silika terserap oleh tanaman. Semakin tinggi dosis yang diberikan, silika yang terserap akan semakin tinggi pula (Tabel 1). Kandungan silika pada jaringan akar dan daun cabai berturut-turut berkisar antara 0.66-5.33% dan 0.06-1.59%. Silika yang terserap oleh cabai rawit tidak terlalu banyak, sebab cabai tidak termasuk akumulator silika sehingga silika pada jaringan tidak sampai 10% (Kim *et al.*, 2017). Kandungan silika lebih banyak pada akar dibanding daun karena sistem transport silika tidak sebaik tanaman akumulator (Doğramaci *et al.*, 2013).

Pengaruh dosis silika, cekaman genangan dan interaksinya tertera pada Tabel 2. Interaksi antara dosis silika dan taraf penggenangan terjadi pada variabel kadar air relatif daun, kandungan H_2O_2 , kandungan prolin dan kandungan klorofil. Tinggi tanaman, jumlah daun dan luas daun hanya

Tabel 1. Hasil analisis kandungan silika pada jaringan akar dan daun tanaman cabai

Perlakuan	Silika daun (%)	Silika akar (%)
0 mL + 50-70%	0.06	1.07
0 mL + 70-90%	0.09	0.69
0 mL + 90-110%	0.14	0.79
0 mL + 110-130%	0.20	0.66
0.15 mL + 50-70%	0.51	1.71
0.15 mL + 70-90%	0.32	1.58
0.15 mL + 90-110%	0.46	1.17
0.15 mL + 110-130%	0.24	1.10
0.3 mL + 50-70%	0.85	3.89
0.3 mL + 70-90%	0.52	2.40
0.3 mL + 90-110%	0.68	2.57
0.3 mL + 110-130%	0.60	1.88
0.45 mL + 50-70%	1.59	7.15
0.45 mL + 70-90%	1.48	4.72
0.45 mL + 90-110%	0.89	4.47
0.45 mL + 110-130%	0.98	5.33

Keterangan: Nilai tidak dianalisis secara statistik

Tabel 2. Analisis ragam

Variabel pengamatan	D	W	DXW
Tinggi tanaman (cm)	tn	**	tn
Jumlah daun (helai)	tn	**	tn
Luas daun (cm ²)	tn	**	tn
Kadar air relatif (%)	**	**	**
Kandungan H ₂ O ₂ (μmol g ⁻¹)	**	**	**
Kandungan prolin (μmol g ⁻¹)	**	**	**
Kandungan klorofil (mg g ⁻¹ berat segar)	**	**	**

Keterangan: D (dosis silika); W (cekaman genangan); DXW (interaksi dosis silika dan cekaman genangan). ** = berpengaruh sangat nyata; tn = tidak berpengaruh nyata

dipengaruhi secara nyata oleh cekaman genangan, namun tidak berpengaruh nyata oleh perlakuan dosis silika.

Tinggi Tanaman, Jumlah dan Luas Daun

Variabel tinggi tanaman, jumlah dan luas daun pada umur 30 HST menunjukkan hasil yang berbeda nyata. Perlakuan 50-70% kapasitas lapang sebagai kontrol menunjukkan nilai tertinggi (Tabel 3). Nilai kontrol pada tinggi tanaman, jumlah dan luas daun secara berturut turut yaitu 40.28 cm, 16.5 helai dan 904.08 cm². Perlakuan genangan 110-130% kapasitas lapang menunjukkan nilai tinggi tanaman, jumlah daun dan luas daun terendah dengan nilai 24.02 cm, 8.42 helai dan 173.09 cm².

Kadar air mulai dari 70-90% (W2), 90-110% (W3) dan 110-130% (W4) telah menghambat pertumbuhan tanaman cabai rawit. Hal tersebut dibuktikan pada variabel tinggi tanaman, jumlah dan luas daun yang memiliki nilai lebih rendah dibandingkan kontrol. Penurunan konsentrasi oksigen mulai terjadi pada perlakuan 70-90% dan 90-110% KL. Menurut Pan *et al.* (2021), penurunan ketersediaan oksigen disebabkan oleh peningkatan kadar air tanah yang mengakibatkan sebagian besar pori terisi oleh air. Terhambatnya pertumbuhan mengindikasikan adanya proses metabolisme yang tidak normal akibat ketersediaan oksigen yang berkurang. Rakatika dan Hernawati (2014) menyatakan bahwa respirasi adalah proses pemecahan senyawa organik menjadi CO₂, H₂O dan energi untuk pertumbuhan tanaman.

Respirasi sangat bergantung pada ketersediaan oksigen sebab oksigen digunakan pada reaksi kimia pada sel tanaman. Ketersediaan oksigen yang berkurang akan menghambat laju respirasi sehingga energi yang terbentuk lebih sedikit. Oleh sebab itu, tanaman dengan perlakuan cekaman 70-90% dan 90-110% KL menyebabkan tinggi tanaman, jumlah dan luas daun lebih rendah dibandingkan kontrol.

Kondisi tergenang terjadi pada perlakuan 110-130% KL. Kondisi tersebut menyebabkan tanaman mengalami *hypoxia*, sehingga mengganggu tekanan osmosis dan transport hara. Menurut Pan *et al.* (2021), kondisi *hypoxia* terjadi karena seluruh pori tanah terisi oleh air sehingga mengurangi ketersediaan oksigen. Rasio difusi oksigen dalam air hanya 1/10.000 dibandingkan di udara sehingga menyebabkan respirasi pada akar terganggu. Metabolisme respirasi sel juga berubah dari aerob menjadi anaerob (Susilawati *et al.*, 2012). Hal ini menyebabkan tinggi tanaman, jumlah dan luas daun pada tanaman dengan perlakuan cekaman 110-130% KL menjadi paling rendah. Silika tidak menunjukkan adanya efek positif karena silika tidak termasuk dalam unsur esensial bagi tanaman sehingga tidak terlalu berdampak pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Luyckx *et al.*, 2017). Namun, silika merupakan unsur yang berperan penting bagi tanaman dalam menghadapi cekaman biotik maupun abiotik, baik pada aktivitas metabolik, fisiologis ataupun pada struktural yang dapat mengurangi dampak buruk dari cekaman tersebut (Luyckx *et al.*, 2017; Etesami and Jeong, 2018; Zargar *et al.*, 2019).

H₂O₂, Kadar Air Relatif, Kandungan Prolin dan Klorofil

Kandungan silika yang lebih tinggi pada perlakuan dosis silika 0.45 mL per tanaman mampu menekan terbentuknya ROS lebih baik dibandingkan perlakuan dosis silika lainnya. Hal ini ditunjukkan oleh menurunnya kandungan H₂O₂ pada tanaman dengan perlakuan 110-130% KL. Perlakuan dosis silika 0.45 ml per tanaman mampu menekan pembentukan H₂O₂ paling rendah yaitu sebesar 1.53 μmol g⁻¹ lebih baik dibandingkan dosis silika 0.15 dan 0.3 ml per tanaman yang memiliki kandungan H₂O₂ secara berturut-turut sebesar 1.73 dan 1.68 μmol g⁻¹ (Tabel 4). Cekaman genangan pada perlakuan 110-130% KL menyebabkan tanaman mengalami stres oksidatif yang berawal dari peningkatan pembentukan *Reactive Oxygen*

Tabel 3. Pengaruh kadar air tanah terhadap tinggi tanaman, jumlah daun dan luas daun tanaman cabai

Perlakuan genangan (% kapasitas lapang)	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah daun (helai)	Luas daun (cm ²)
50-70% KL	40.28a	16.5a	904.08a
70-90% KL	38.20b	15.2b	731.44b
90-110% KL	37.12b	14.8b	561.22c
110-130% KL	24.02c	8.4c	173.09d

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT pada taraf α = 5%

Species. Penumpukan ROS seperti *hydrogen peroxide* (H_2O_2) akan berbahaya karena dapat menyebabkan kerusakan molekular, protein hingga DNA (Lesharadevi *et al.*, 2021). Berdasarkan Tabel 4, perlakuan dosis silika 0.45 mL per tanaman mampu menekan akumulasi H_2O_2 dari 2.06 $\mu\text{mol g}^{-1}$ (perlakuan tanpa silika) ke 1.53 $\mu\text{mol g}^{-1}$ pada perlakuan 110-130% KL. Menurut Lesharadevi *et al.* (2021), silika dapat menginduksi pembentukan antioksidan enzimatis dan non-enzimatis sehingga dapat menekan keberadaan ROS. Kim *et al.* (2014) melaporkan bahwa perlakuan silika dapat menurunkan oksidan sehingga stres oksidatif dapat berkurang.

Dosis silika 0.45 mL menunjukkan kondisi kadar air relatif terbaik. Perlakuan genangan 110-130% KL dan tanpa pemberian silika menyebabkan kadar air relatif terendah sebesar 76.13% (Tabel 4). Namun, dengan adanya perlakuan silika, variabel kadar air relatif menjadi lebih baik. Perlakuan silika 0.15, 0.3, dan 0.45 mL per tanaman pada tingkat cekaman 110-130% KL memperbaiki kadar air relatif ditunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan tanpa pemberian silika secara berturut-turut bernilai 79.65, 80, dan 84.70%. Saat tanaman tercekam genangan umumnya pergerakan air dalam tubuh tanaman akan terhambat dan cenderung konstan sebab keadaan *hypoxia* yang berakibat sebagian besar stomata akan menutup sehingga tidak ada pergerakan air. Nutrisi tidak mampu diserap disebabkan kondisi stagnan tersebut. Namun, dengan adanya silika, tanaman mampu beradaptasi lebih baik. Hal tersebut disebabkan karena silika mampu membantu mempertahankan fluiditas membran yang optimal.

Keberadaan silika juga mempengaruhi osmo-regulasi dengan meningkatkan akumulasi gula terlarut dan asam amino dalam getah xilem sehingga kekuatan pendorong osmotik meningkat. Silika juga dapat mengaktifkan translokasi K^+ ke getah xilem melalui gen SKOR (*Stelar K⁺ Outward Rectifier*) (Zargar *et al.*, 2019). Lebih lanjut, silika dapat meningkatkan konduktansi hidrolik akar dengan memodifikasi pertumbuhan akar sehingga konduktansi hidrolik akar yang lebih tinggi menghasilkan peningkatan penyerapan dan pengangkutan air yang membantu mempertahankan laju fotosintesis yang lebih tinggi dan meningkatkan ketahanan tanaman dalam cekaman (Luyckx *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2018).

Silika mampu mempertahankan tekanan osmotik pada tanaman dengan cara lain yaitu dengan membentuk prolin yang memiliki peran yaitu sebagai osmoprotektan. Nilai prolin yang terbentuk pada perlakuan dosis silika 0.15 mL-0.45 mL per tanaman yaitu 0.84-3.89 $\mu\text{mol g}^{-1}$ (Tabel 4). Silika juga mampu menyesuaikan tingkat zat terlarut seperti total asam amino bebas, *glycine betaine* dan prolin (Abbas *et al.*, 2015). Berdasarkan Tabel 4, semakin tinggi dosis silika menyebabkan semakin tinggi juga prolin yang terbentuk. Hal ini karena silika berperan dalam meregulasi protein seperti *Potassium channel AKT2* dan *AKT2/3-like potassium channel* yang memiliki peran pada aktivitas asam absisat (Muneer and Jeong, 2015). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Zdunek-Zastocka *et al.* (2021), pemberian *ABA exogenous* dapat meningkatkan kandungan prolin secara signifikan.

Tabel 4. Pengaruh dosis silika dan kadar air tanah terhadap kadar air relatif, kandungan H_2O_2 , kandungan prolin dan kandungan klorofil tanaman cabai

Perlakuan	Kandungan H_2O_2 ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	Kandungan prolin ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	Kadar air relatif (%)	Kandungan klorofil (mg g^{-1} berat segar)
0 mL + 50-70%	1.14fg	0.53k	89.37abc	0.96b
0 mL + 70-90%	1.12g	0.45k	90.70ab	0.81h
0 mL + 90-110%	1.72b	1.66f	78.27ij	0.83g
0 mL + 110-130%	2.06a	2.25d	76.13j	0.69j
0.15 mL + 50-70%	1.27de	0.84j	89.30abc	0.95c
0.15 mL + 70-90%	1.24def	0.86ij	88.27bcd	0.92d
0.15 mL + 90-110%	1.51c	0.93hij	81.53gh	0.84g
0.15 mL + 110-130%	1.73b	1.24g	79.65hi	0.79i
0.3 mL + 50-70%	1.3de	1.07h	90.70ab	0.92d
0.3 mL + 70-90%	1.21efg	1.09gh	87.17cde	0.87f
0.3 mL + 90-110%	1.37d	1.54f	83.73fg	0.87f
0.3 mL + 110-130%	1.68b	1.86e	80.00hi	0.83g
0.45 mL + 50-70%	1.00h	3.06c	92.00a	0.98a
0.45 mL + 70-90%	1.26def	3.71b	89.97abc	0.92d
0.45 mL + 90-110%	1.25def	3.71b	85.67def	0.91e
0.45 mL + 110-130%	1.53c	3.89a	84.7efg	0.95bc

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$

Perlakuan genangan 110-130% KL menurunkan kandungan klorofil daun secara signifikan dibandingkan perlakuan kontrol dengan nilai 0.69 mg g⁻¹ berat segar (Tabel 4). Namun, pemberian silika dapat menghasilkan kandungan klorofil yang lebih tinggi dibandingkan kontrol. Peningkatan kandungan klorofil pada perlakuan 0.15-0.45 mL per tanaman pada genangan 110-130% KL secara berturut-turut menjadi 0.79, 0.83, dan 0.95 mg g⁻¹. Tanaman yang tercekam genangan umumnya cenderung mengalami kekurangan hara esensial seperti nitrogen sebagai akibat terhentinya jalur transport hara sehingga tanaman mengalami klorosis. Namun, silika mampu meningkatkan kandungan klorofil karena silika berperan dalam osmoregulasi. Osmoregulasi yang baik menyebabkan kondisi transport air dan hara yang lebih baik pada tanaman. Tekanan osmotik mempengaruhi transport air dan hara sehingga kebutuhan air dan hara lebih tercukupi. Hal tersebut dapat dilihat dari kandungan klorofil yang tinggi pada perlakuan dosis silika 0.45 mL per tanaman. Silika mampu meningkatkan penyerapan unsur makro salah satunya Magnesium pada

kondisi stres oksidatif dan salin (Gunes *et al.*, 2008; Abdalla, 2011; Li *et al.*, 2015). Magnesium yang terserap lebih baik dapat meningkatkan kandungan klorofil karena unsur Mg berperan dalam pembentukan klorofil.

Tanaman cabai yang tercekam menunjukkan adanya respon pada seluruh peubah yang dibuktikan dengan adanya korelasi antara peubah satu dengan lainnya (Tabel 5). Kandungan H₂O₂ yang meningkat, akan menghambat pertumbuhan tanaman. Khan dan Khan (2017) menyatakan bahwa tanaman tercekam dapat menghasilkan H₂O₂ pada kloroplas yang menghambat pada PSI dan PSII. Rendahnya kandungan klorofil akan menghambat fotosintesis yang berakibat pada berkurangnya laju pertumbuhan tanaman (Zeng *et al.*, 2021). Hal tersebut ditunjukkan pada penelitian ini dimana H₂O₂ berkorelasi negatif yang cukup kuat terhadap kandungan klorofil. Silika berkorelasi negatif dengan kandungan H₂O₂ yang artinya silika dapat menekan kandungan H₂O₂ sehingga mengurangi dampak negatif dari cekaman genangan pada tanaman cabai, oleh sebab itu pertumbuhan tanaman lebih baik.

Tabel 5. Korelasi antara peubah morfologi, fisiologi dan Silika jaringan pada tanaman cabai

	Silika akar	Silika daun	Tinggi	Jumlah daun	Luas daun	RWC	Klorofil	H ₂ O ₂
Silika akar	1							
Silika daun	0.94*	1						
Tinggi	0.22	0.17	1					
Jumlah daun	0.13	0.11	0.96*	1				
Luas daun	0.26	0.26	0.88*	0.93*	1			
RWC	0.48	0.43	0.75*	0.74*	0.85*	1		
Klorofil	0.64*	0.55*	0.70*	0.61*	0.68*	0.77*	1	
H ₂ O ₂	-0.44	-0.38	-0.85*	-0.83*	-0.85*	-0.94*	-0.77*	1
Prolin	0.75*	0.74*	-0.17	-0.28	-0.24	-0.05	0.20	0.08

Keterangan: * signifikan pada taraf 5%

KESIMPULAN

Interaksi antara perlakuan dosis silika dengan cekaman genangan menunjukkan pengaruh tidak nyata pada peubah morfologi yaitu tinggi tanaman, jumlah daun dan luas daun, namun berpengaruh nyata pada peubah fisiologi yaitu kadar air relatif, kandungan H₂O₂, kandungan prolin dan klorofil tanaman cabai rawit (*Capsicum annuum* L.). Faktor tunggal cekaman genangan berpengaruh nyata pada semua peubah sedangkan faktor tunggal dosis silika tidak berpengaruh nyata pada peubah morfologi. Pupuk silika mampu menekan keberadaan H₂O₂ sebagai ROS sehingga dapat meningkatkan ketahanan fisiologi seperti kandungan klorofil dan kadar air relatif pada daun. Hal ini dibuktikan dengan adanya korelasi positif antara peningkatan metabolisme fisiologi dengan peubah morfologinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, T., R.M. Balal, M.A. Shahid, M.A. Pervez, C.M. Ayyub, M.A. Aqueel, M.M. Javaid. 2015. Silicon-induced alleviation of NaCl toxicity in okra (*Abelmoschus esculentus*) is associated with enhanced photosynthesis, osmoprotectants and antioxidant metabolism. *Acta Physiol. Plant* 37:1-15. Doi:10.1007/s11738-014-1768-5.
- Abdalla, M.M. 2011. Impact of diatomite nutrition on two *Trifolium alexandrinum* cultivars differing in salinity tolerance. *Int. J. Plant Physiol. Biochem.* 3:233-246. Doi:10.5897/ijppb11.040.

- Balakhnina, T.I., V. V. Matichenkov, T. Wlodarczyk, A. Borkowska, M. Nosalewicz, I.R. Fomina. 2012. Effects of silicon on growth processes and adaptive potential of barley plants under optimal soil watering and flooding. *Plant Growth Regul.* 67:35-43. Doi: 10.1007/s10725-012-9658-6.
- Bates, L.S., R.P. Waldren, I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil* 39:205-207. Doi:10.1007/BF00018060.
- Chen, D., S. Wang, L. Yin, X. Deng. 2018. How does silicon mediate plant water uptake and loss under water deficiency? *Front. Plant Sci.* 9:1-7. Doi:10.3389/fpls.2018.00281.
- Chen, Y.E., J.J. Mao, L.Q. Sun, B. Huang, C.B. Ding, Y. Gu, J.Q. Liao, C. Hu, Z.W. Zhang, S. Yuan, M. Yuan. 2018. Exogenous melatonin enhances salt stress tolerance in maize seedlings by improving antioxidant and photosynthetic capacity. *Physiol Plant* 164:349-363. Doi:10.1111/pp1.12737.
- Doğramacı, M., S.P. Arthurs, J. Chen, L. Osborne. 2013. Silicon applications have minimal effects on scirtothrips dorsalis (thysanoptera: Thripidae) populations on pepper plant, *Capsicum annum* L. *Florida Entomol.* 96:48-54. Doi:10.1653/024.096.0106.
- Etesami, H., B.R. Jeong. 2018. Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 147:881-896. Doi:10.1016/j.ecoenv.2017.09.063.
- Gunes, A., D.J. Pilbeam, A. Inal, S. Coban. 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 39:1885-1903. Doi:10.1080/00103620802134651.
- Haridjaja, O., D.P.T. Baskoro, M. Setianingsih. Perbedaan nilai kadar air kapasitas lapang berdasarkan metode alhricks, drainase bebas, dan *pressure plate* pada berbagai tekstur tanah dan hubungannya dengan pertumbuhan bunga matahari (*Helianthus annuus* L.). *J. Tanah Lingk.* 15:52-59.
- Junglee, S., L. Urban, H. Sallanon, F. Lopez-Lauri. 2014. Optimized assay for hydrogen peroxide determination in plant tissue using potassium iodide. *Am. J. Anal. Chem.* 05:730-736. Doi:10.4236/ajac.2014.511081.
- Khan, M.I.R., N.A. Khan. 2017. Reactive oxygen species and antioxidant systems in plants: role and regulation under abiotic stress. Springer Nature, Singapore, SG.
- Kim, Y.H., A.L. Khan, D.H. Kim, S.Y. Lee, K.M. Kim, M. Waqas, H.Y. Jung, J.H. Shin, J.G. Kim, I.J. Lee. 2014. Silicon mitigates heavy metal stress by regulating P-type heavy metal *ATPases*, *Oryza sativa* low silicon genes, and endogenous phytohormones. *BMC Plant Biol.* 14:1-13. Doi:10.1186/1471-2229-14-13.
- Kim, Y.H., A.L. Khan, M. Waqas, I.J. Lee. 2017. Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress: A review. *Front. Plant Sci.* 8:1-7. Doi:10.3389/fpls.2017.00510.
- Lesharadevi, K., T. Parthasarathi, S. Muneer. 2021. Silicon biology in crops under abiotic stress: A paradigm shift and cross-talk between genomics and proteomics. *J. Biotechnol.* 333:21-38. Doi:10.1016/j.jbiotec.2021.04.008.
- Li, H., Y. Zhu, Y. Hu, W. Han, H. Gong. 2015. Beneficial effects of silicon in alleviating salinity stress of tomato seedlings grown under sand culture. *Acta Physiol. Plant* 37:1-9. Doi:10.1007/s11738-015-1818-7.
- Luyckx, M., J.F. Hausman, S. Lutts, G. Guerriero. 2017. Silicon and plants: Current knowledge and technological perspectives. *Front. Plant Sci.* 8:1-8. Doi:10.3389/fpls.2017.00411.
- Muneer, S., B.R. Jeong. 2015. Proteomic analysis of salt-stress responsive proteins in roots of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plants towards silicon efficiency. *Plant Growth Regul.* 77:133-146. Doi: 10.1007/s10725-015-0045-y.
- Norhasanah. 2012. Respon pertumbuhan dan hasil tanaman cabe rawit (*Capsicum frutescens* linn.) varietas cakra hijau terhadap pemberian abu sekam padi pada tanah rawa lebak. *Agroscientiae* 19:1-5.
- Pan, J., R. Sharif, X. Xu, X. Chen. 2021. Mechanisms of waterlogging tolerance in plants: research progress and prospects. *Front. Plant Sci.* 11:1-16. Doi: 10.3389/fpls.2020.627331.
- Pratomo, I., S. Wardhani, D. Purwonugroho. 2013. Pengaruh teknik ekstraksi dan konsentrasi HCl dalam ekstraksi silika dari sekam padi untuk sintesis silika xerogel. *Kimia Student Journal* 2:358-364.
- Rakatika, R.R., D. Hernawati. 2014. Perbedaan konsumsi oksigen (O₂) pada proses respirasi kecambah. *Penelitian Internal* 1:1-7.
- Ritchie, R.J. 2006. Consistent sets of spectrophotometric chlorophyll equations for acetone, methanol and ethanol solvents. *Photosynth. Res.* 89:27-41. Doi: 10.1007/s11120-006-9065-9.

- Siaga, E., J.I. Sakagami, B. Lakitan, S. Yabuta, H. Hasbi, S.M. Bernas, K. Kartika, L.I. Widuri. 2019. Morpho-physiological responses of chili peppers (*Capsicum annuum*) to short-term exposure of water-saturated rhizosphere. *Aust. J. Crop Sci.* 13:1865-1872. Doi: 10.21475/ajcs.19.13.11.p2046.
- Sudradjat, A.F. Jufri, E. Sulistyono. 2016. Studies on the effects of silicon and antitranspirant on chili pepper (*Capsicum annuum* L.) growth and yield. *Eur. J. Sci. Res.* 137:5-10. Doi:10.3923/ijar.2017.36.40.
- Sumarna, A. 1998. Irigasi Tetes pada Budidaya Cabai. Balai Penelitian Tanaman Sayuran, Bandung, ID.
- Susilawati, R.A. Suwignyo, Munandar, M. Hasmeda. 2012. Karakter agronomi dan fisiologi varietas cabai merah pada kondisi cekaman genangan. *J. Agron. Indonesia* 40:196-203. Doi:10.24831/jai.v40i3.6826.
- Zargar, S.M., R. Mahajan, J.A. Bhat, M. Nazir, R. Deshmukh. 2019. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. *3 Biotech.* 9:1-16. Doi:10.1007/s13205-019-1613-z.
- Zdunek-Zastocka, E., A. Grabowska, B. Michniewska, S. Orzechowski. 2021. Proline concentration and its metabolism are regulated in a leaf age dependent manner but not by abscisic acid in pea plants exposed to cadmium stress. *Cells* 10:1-16. Doi:10.3390/cells10040946.
- Zeng, R., T. Chen, X. Wang, J. Cao, X. Li, X. Xu, L. Chen, Q. Xia, Y. Dong, L. Huang, L. Wang, J. Zhang, L. Zhang. 2021. Physiological and expressional regulation on photosynthesis, starch and sucrose metabolism response to waterlogging stress in peanut. *Front. Plant Sci.* 12:1-16. Doi:10.3389/fpls.2021.601771.