

Toleransi Tanaman Tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) terhadap Cekaman Genangan pada Berbagai Aplikasi Pupuk Kalsium***Tobacco Plant (*Nicotiana tabacum* L.) Tolerance Towards Waterlogging Stress on Various Calcium Fertilizer Application*****Hidayat¹, Parawita Dewanti^{1,2*}, dan Kacung Hariyono²**¹Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember
Jl. Tegalboto No. 37, Krajan Timur, Sumbersari, Kecamatan Sumbersari
Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121, Indonesia²Program Studi Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember
Jl. Tegalboto No. 37, Krajan Timur, Sumbersari, Kecamatan Sumbersari
Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121, Indonesia

Diterima 23 Maret 2022/Disetujui 19 Juli 2022

ABSTRACT

*Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) is one of the plantation crops with high economic value. High rainfall caused waterlogging and becomes a major obstacle in its cultivation. Many studies have shown that waterlogging affected the morphological, physiological, and anatomical responses. Calcium has an important role in helping the metabolic processes in plants under abiotic stress. Calcium application on tobacco improved their adaptation to waterlogging. This study aimed to determine the tolerance of tobacco under waterlogging stress with calcium application based on physiological, morphological, and anatomical responses. This research was conducted from November 2021 to January 2022 at the research trial site of Universal PT. Tempu Rejo using a factorial completely randomized design. The first factor was waterlogging treatment in tobacco plants at different growth stages (control; waterlogging at 21 days after planting (DAP), 28 DAP, and 35 DAP). The second factor was calcium application at different doses (0, 8.5, 10, and 11.5 g). The results showed that 11.5 g of calcium application was effective in enhancing plant tolerance toward waterlogging stress based on its morphological characteristics. This study showed that calcium inhibited the presence of H₂O₂ as ROS (reactive oxygen species) and function in maintaining the anatomical structure of roots and stomatal conductivity under waterlogging stress.*

Keywords: anatomy, H₂O₂, morphological characteristics, physiology

ABSTRAK

*Tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) merupakan salah satu tanaman komoditas perkebunan yang memiliki nilai ekonomi cukup tinggi. Curah hujan tinggi dapat menyebabkan terjadinya genangan dan merupakan kendala utama dalam budidaya tanaman tembakau. Banyak studi telah menunjukkan bahwa genangan mempengaruhi respon morfologi, fisiologi dan anatomi pada tanaman. Kalsium berperan dalam membantu proses metabolisme tanaman saat mengalami cekaman abiotik. Pemberian kalsium pada tanaman dapat meningkatkan adaptasinya terhadap genangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui toleransi tanaman tembakau terhadap cekaman genangan pada berbagai taraf aplikasi kalsium berdasarkan respon fisiologi, morfologi serta anatominya. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2021 hingga Januari 2022 di Kebun percobaan Universal PT. Tempu Rejo menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktorial. Faktor pertama adalah penggenangan tanaman tembakau pada usia yang berbeda (tanpa penggenangan/kontrol; penggenangan pada 21 hari setelah tanam (HST), 28 HST, dan 35 HST). Faktor kedua adalah aplikasi kalsium dengan dosis (0, 8.5, 10, dan 11.5 g per tanaman). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kalsium 11.5 g per tanaman yang diaplikasikan efektif meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman genangan berdasarkan karakteristik morfologinya. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penambahan kalsium dapat menekan keberadaan H₂O₂ sebagai ROS (reactive oxygen species) serta dapat mempertahankan struktur anatomi akar dan anatomi stomata di bawah cekaman genangan.*

Kata kunci: anatomi, fisiologi, H₂O₂, karakteristik morfologi

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: parawita.faperta@unej.ac.id

PENDAHULUAN

Banjir merupakan fenomena alam yang terjadi akibat intensitas hujan yang tinggi dan berlebih, sehingga dapat menimbulkan terjadinya genangan air di lahan pertanian. Kejadian ini dapat menimbulkan kerusakan pada komoditas pertanian seperti tanaman pangan dan hortikultura. Genangan air yang disebabkan oleh banjir di lahan pertanian dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman dan perkembangan tanaman yang berakibat pada menurunnya produktivitas dan hasil tanaman budidaya.

Tembakau merupakan salah satu komoditas tanaman perkebunan yang memiliki nilai ekonomis tinggi dan banyak dibudidayakan di Indonesia. Kendala utama dalam budidaya tembakau adalah faktor curah hujan tinggi; sehingga dapat menyebabkan kelebihan air yang berakibat pada cekaman genangan. Nurhidayati *et al.* (2018) dalam penelitiannya membuktikan bahwa respon morfologi seperti tinggi tanaman, diameter batang, luas daun serta kandungan klorofil mengalami penurunan terhadap kondisi genangan sehingga dapat menyebabkan terjadinya penurunan produktivitas tanaman tembakau yang dihasilkan. Nurhidayati *et al.* (2021), menyatakan bahwa terjadi penurunan produktivitas tanaman tembakau dari 720 kg ha⁻¹ ke 697 kg ha⁻¹. Penurunan tersebut diakibatkan oleh berkurangnya kualitas daun dikarenakan kondisi cuaca yang tidak menentu sehingga banyaknya kejadian banjir sebagai penyebab terjadinya cekaman genangan. Semakin tinggi penggenangan yang terjadi maka resiko penurunan produktivitas tanaman semakin meningkat. Pan *et al.* (2021) menyatakan bahwa proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman dapat terganggu bersamaan dengan adanya cekaman genangan. Tanaman secara umum merespon adanya cekaman genangan dengan perubahan struktur morfologi, proses metabolisme dan biosintesis hormonnya.

Kalsium (Ca) merupakan salah satu unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman selama proses pertumbuhan dan perkembangannya. Hu *et al.* (2018) menyatakan bahwa pemberian kalsium pada tanaman juga merupakan salah satu solusi untuk meningkatkan toleransi tanaman terhadap kondisi cekaman abiotik dengan cara menjaga kestabilan struktur dan fungsi sel pada jaringan tanaman. He *et al.* (2015) dalam penelitiannya, menunjukkan penambahan kalsium eksogen dapat meningkatkan konsentrasi Ca²⁺ dan K⁺ pada sel akar melalui peningkatan aktivitas pada membran plasma, sehingga terjadi peningkatan toleransi tanaman di bawah kondisi hipoksia. Ou *et al.* (2017) juga menunjukkan pemberian kalsium secara signifikan berpengaruh pada beberapa parameter pertumbuhannya terutama pada karakteristik morfologi dan fisiologinya di bawah kondisi cekaman genangan. Lisuma *et al.* (2020) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa penambahan Ca sebagai nutrisi makro sangat berpengaruh pada kualitas tembakau yang dihasilkan. Penambahan kalsium dapat meningkatkan biomassa dan berat kering tanaman. Ca juga mempengaruhi penyerapan unsur nitrogen sehingga kualitas tanaman yang dihasilkan meningkat dan tentunya berpengaruh terhadap nilai ekonomi serta nilai jual produk

tembakau yang dihasilkan. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui toleransi tanaman tembakau terhadap cekaman genangan pada berbagai taraf aplikasi kalsium berdasarkan respon fisiologi, morfologi serta anatomi yang menyertai.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada November 2021 sampai dengan Januari 2022 di Kebun Percobaan Agronomy Center, Universal PT. Tempu Rejo Indonesia, Balung Lor, Balung, Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur pada lahan terkontrol (*greenhouse*). Pembibitan tanaman tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) varietas H382 dilakukan dengan cara menanam benih ke dalam media persemaian. Pembibitan dilakukan selama 45 hari dengan penyiraman yang rutin dan kondisi kelembaban yang optimal. Bibit tembakau siap dipindahkan ke dalam polibag ukuran 30 cm x 30 cm yang berisi tanah dan pupuk dasar pada usia 45 hari setelah sebar.

Perlakuan Cekaman Genangan dan Pemberian Pupuk Kalsium

Tanaman tembakau digenangi pada usia yang berbeda (kontrol/tanpa penggenangan; Penggenangan usia 21 Hari Setelah Tanam (HST); 28 HST; dan 35 HST). Penggenangan dilakukan dengan menambahkan air pada media tanam hingga 110% di atas kapasitas lapang dan dipertahankan hingga 48 jam. Pemupukan kalsium diberikan 1 minggu sebelum perlakuan cekaman genangan. Sumber kalsium yang digunakan adalah pupuk CaNO₃ yang diaplikasikan pada 4 taraf dosis berbeda (0, 8,5, 10, dan 11.5 g per tanaman).

Analisis Pertumbuhan Tanaman Tembakau

Pengukuran parameter pertumbuhan dan perkembangan tanaman tembakau dilakukan dengan cara mengukur tinggi menggunakan penggaris. Parameter destruktif dilakukan dengan mencabut tanaman tembakau pada usia 45 HST untuk kemudian diukur bobot segar. Keseluruhan tanaman kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 85 °C selama 48 jam sampai menghasilkan berat yang stabil. Bobot kering tanaman dihitung sebagai biomassa tanaman.

Analisis Kandungan H₂O₂

Pengukuran kandungan H₂O₂ menggunakan metode dari Junglee *et al.* (2014) Sampel diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer dari *Amersham Bioscience* pada panjang gelombang 390 nm.

Pengukuran Kandungan Klorofil

Pengukuran klorofil menggunakan metode dari Süß *et al.* (2015) yaitu menggunakan alat SPAD (Konica Minolta SPAD-502Plus). Pengambilan nilai SPAD dilakukan pada 5 titik daun agar didapatkan akurasi data yang tinggi.

Nilai SPAD yang muncul pada alat dinyatakan sebagai SPAD Value (SV). Nilai SV yang didapatkan kemudian dimasukkan kedalam rumus regresi, sehingga didapatkan nilai kandungan klorofil. Rumus regresi yang digunakan adalah:

$$\text{Klorofil } (\mu\text{g cm}^{-2}) = 1.034 + 0.308 \times \text{SV} + 0.11 \times \text{SV}^2$$

Penentuan Indeks Sensitivitas Tanaman terhadap Cekaman Genangan

Perhitungan nilai indeks sensitivitas tanaman tembakau ditentukan berdasarkan Fischer dan Maurer (1978) dengan menggunakan beberapa data kuantitatif respon morfologi seperti tinggi tanaman, berat akar, biomassa dan juga kandungan klorofil. Indeks sensitivitas cekaman genangan (S) ditentukan berdasarkan rumus berikut :

$$\text{Indeks sensitivitas (S)} = \frac{\left(1 - \frac{Y_p}{Y}\right)}{\left(1 - \frac{X_p}{X}\right)}$$

S = Indeks sensitivitas cekaman genangan, Y_p = nilai rata-rata setiap perlakuan yang mendapat cekaman genangan, Y = nilai rata-rata setiap perlakuan yang tidak mendapat cekaman genangan, X_p = nilai rata-rata semua perlakuan yang mendapat cekaman genangan, X = nilai rata-rata semua perlakuan yang tidak mendapat cekaman genangan.

Kriteria dalam menentukan tingkat sensitivitas terhadap cekaman genangan yaitu apabila nilai $S < 0.5$ (Toleran), $0.5 < S < 1.0$ (Medium toleran) dan $S > 1.0$ (Sensitive/peka).

Analisis Histologi Jaringan Akar

Histologi jaringan dilakukan untuk mengetahui anatomi akar pada saat tergenang. Metode pembuatan preparat untuk histologi jaringan akar dilakukan berdasarkan Albrechtová *et al.* (2014). Hasil jaringan akar yang didapatkan kemudian diamati menggunakan mikroskop elektron (*Olympus*) dengan perbesaran 4x.

Pencetakan Stomata pada Daun

Pengambilan stomata dilakukan dengan cara mencetak stomata menggunakan kutek transparan yang dioleskan pada permukaan daun. Kutek yang mengering kemudian diambil menggunakan isolasi bening dan ditempelkan pada

kaca preparat. Pengamatan stomata dilakukan menggunakan mikroskop elektron (*Olympus*) dengan perbesaran 10x.

Analisis Data

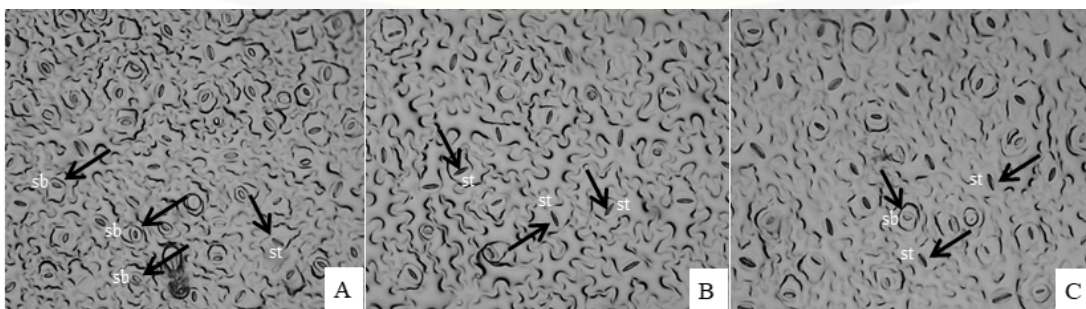
Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap. Semua percobaan dilakukan dengan tiga ulangan. Analisis yang digunakan adalah *Analysis of Variant* (ANOVA) dan akan diuji lanjut dengan menggunakan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf kepercayaan 5%. Selain itu juga dilakukan analisis korelasi antara karakter karakter fisiologi dan morfologinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Anatomi Stomata dan Anatomi Akar Tanaman Tembakau

Gambar 1 menunjukkan anatomi stomata pada kondisi normal dan tergenang. Banyaknya stomata yang terbuka dapat menjadi indikasi semakin meningkatnya efisiensi fotosintesis tanaman pada kondisi tergenang. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pemberian kalsium pada tanaman yang tergenang dapat meningkatkan jumlah stomata yang terbuka. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh He *et al.* (2018), bahwa penambahan kalsium eksogen pada tanaman timun secara signifikan dapat menambah kapasitas fotosintesis melalui peningkatan kapasitas daun dalam asimilasi karbon (CO_2) dengan meregulasi pembukaan stomata. Cekaman genangan menyebabkan terjadinya penutupan stomata sebagai salah satu mekanisme adaptasi tanaman pada kondisi stress. Mekanisme tertutupnya stomata dipengaruhi oleh tekanan turgor pada sel penjaga. Bharath *et al.* (2021) menyatakan bahwa keberadaan Asam Absisat (ABA) menginduksi terjadinya penutupan stomata yang disebabkan oleh meningkatnya OST1 kinase. OST1 merupakan faktor primer dalam aktivasi NADPH oksidase dan peningkatan kandungan ROS pada sel penjaga. Disisi lain, stomata yang tertutup dapat mempengaruhi konduktivitas stomata. Todorova *et al.* (2022) menyatakan bahwa stomata yang tertutup dapat mengganggu asimilasi CO_2 didalam tanaman, sehingga dapat menghambat aktivasi Rubisco serta menurunkan efisiensi fotosintesis.

Akar merupakan salah satu organ tanaman yang juga merespon ketika terjadi cekaman genangan. Pada Gambar 2. struktur akar normal menunjukkan kualitas yang baik dan



Gambar 1. Anatomi stomata pada daun tanaman tembakau dengan mikroskop perbesaran 10x (A) kondisi normal/kontrol, (B) cekaman genangan, (C) cekaman genangan + kalsium. sb = stomata terbuka; st = stomata tertutup

tidak terjadi kerusakan. Akar tanaman yang tergenang tanpa pemberian kalsium menunjukkan kerusakan pada susunan jaringan akar dan epidermisnya. Akar tanaman tembakau yang diberi kalsium mampu bertahan didalam kondisi tergenang dan hanya sedikit mengalami kerusakan. Kondisi akar yang dapat bertahan pada kondisi tergenang berdasarkan hasil pengamatan terdapat pada tanaman tembakau dengan pemberian kalsium 11.5 g per tanaman yang digenangi pada 28 HST. Terbentuknya jaringan aerenkim ditunjukkan pada semua akar tanaman dalam kondisi tergenang. Jaringan aerenkim terbentuk sebagai mekanisme ketahanan tanaman ketika mengalami stress. Ketika di bawah kondisi cekaman genangan, akar tidak memiliki akses untuk mendifusikan oksigen dari atmosfer. Kondisi tersebut menyebabkan terhambatnya pertukaran gas sehingga menurunkan kadar oksigen dan menjadi penyebab meningkatnya kandungan etilen pada akar (Yamauchi *et al.*, 2018). Ni *et al.* (2019), menunjukkan peningkatan etilen dan *reactive oxygen spesies* (ROS) merupakan sebuah mekanisme adaptasi tanaman pada kondisi stress. Keberadaan etilen dan ROS terlibat dalam formasi aerenkim pada batang dan akar yang diakibatkan oleh *program cell death* (PCD). Pada kondisi tergenang, tanaman akan mengalami perbesaran dan peningkatan ruang sel. Peran kalsium yang diberikan memiliki fungsi untuk mempertahankan proporsi serta struktur sel akar tetap dalam kondisi normal, sehingga metabolismenya tetap berjalan normal (Ou *et al.*, 2017).

Respon Fisiologi Tanaman Tembakau

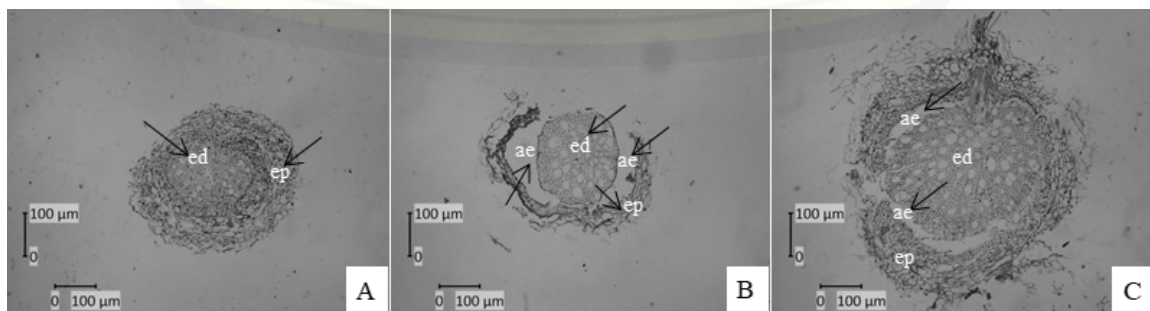
Respon fisiologi tanaman dalam kondisi stress dapat meningkatkan kandungan Hidrogen Peroksida (H_2O_2) sebagai *Reactive Oxygen Species* (ROS). Kondisi cekaman genangan menyebabkan kandungan H_2O_2 meningkat dibandingkan dengan kondisi normal (Gambar 3). Kandungan H_2O_2 tertinggi yaitu sebesar $3.65 \mu\text{mol g}^{-1}$ terdapat pada tanaman tembakau yang digenangi 35 HST tanpa pemberian kalsium. Pada tanaman yang diberi kalsium, kandungan H_2O_2 lebih rendah daripada tanaman yang digenangi tanpa pemberian kalsium. Meningkatnya senyawa H_2O_2 yang terinduksi karena kondisi cekaman abiotik dapat menyebabkan kerusakan fungsi sel pada tanaman (Luan *et al.*, 2018). Penambahan kalsium sebagai Ca^{2+} eksogen mampu mengaktivasi beberapa enzim serta

meregulasi gen untuk meningkatkan adaptasi pada sel tanaman sehingga dapat menekan keberadaan H_2O_2 (Jethva *et al.*, 2022).

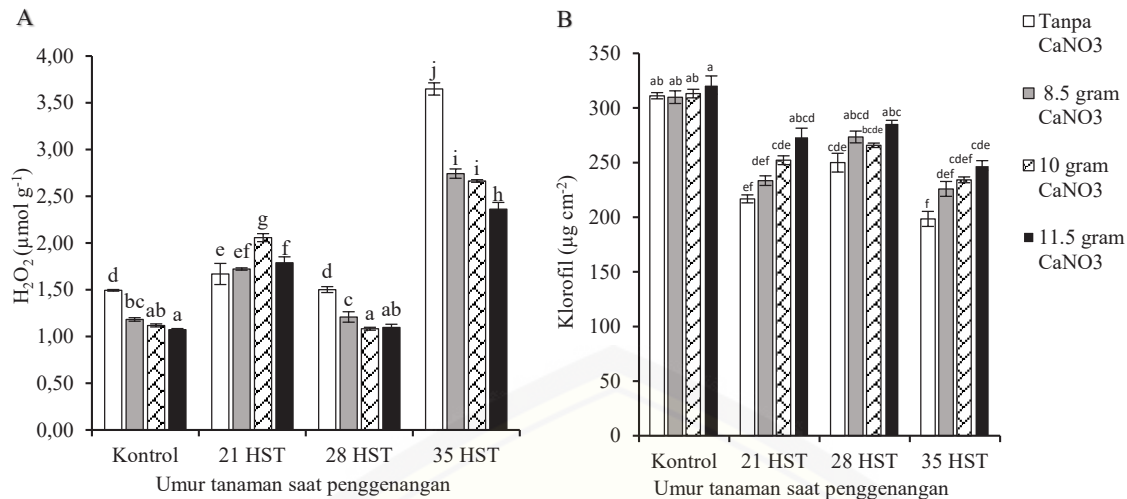
Cekaman genangan juga menyebabkan terjadinya penurunan kandungan klorofil pada daun tembakau (Gambar 3). Kandungan klorofil terendah terdapat pada tanaman yang genangi 35 HST tanpa pemberian kalsium, dengan penurunan klorofil tertinggi yaitu 30.35%. Berkurangnya kandungan klorofil disebabkan oleh terhambatnya pertukaran gas di zona perakaran tanaman yang menyebabkan penyerapan nutrisi, air terbatas dan penyerapan nitrogen oleh daun terbatas (Biswas and Kalra, 2018). Pemberian kalsium pada masing masing fase penggenangan dapat meningkatkan kandungan klorofil. Kalsium 11.5 g per tanaman yang diaplikasikan mampu meningkatkan kandungan klorofil pada tanaman tembakau yang digenangi pada 28 HST. Kalsium memberikan pengaruh dalam mengurangi hambatan efisiensi fotosintesis pada tanaman dan hal ini dibuktikan oleh penelitian dari (He *et al.*, 2018) pada tanaman mentimun yang diberi cekaman genangan dapat menurunkan kandungan klorofilnya, akan tetapi tanaman tetap dapat melakukan metabolisme fotosintesis dengan baik.

Respon Pertumbuhan Tanaman Tembakau

Karakteristik ketahanan tanaman tembakau bisa dilihat berdasarkan respon pertumbuhannya (Tabel 1). Hasil penelitian menunjukkan cekaman genangan dapat menghambat pertumbuhan, salah satunya dapat dilihat berdasarkan tinggi tanamannya. Penggenangan pada usia 35 hari merupakan fase kritis tanaman tembakau. Hal ini ditunjukkan dengan terhambatnya pertumbuhan dan perkembangan tanaman setelah digenangi dibandingkan dengan cekaman pada usia 21 dan 28 HST. Wang *et al.* (2017) menyatakan bahwa fase generatif awal (*Squaring stage*) merupakan fase kritis tanaman dalam merespon cekaman genangan. Tanaman tidak mampu untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi akibat pengaruh dari genangan, sehingga pertumbuhannya terhambat. Tanaman yang diberi kalsium 10 g per tanaman pada penggenangan 28 HST memiliki presentase penurunan yang rendah yaitu sebesar 1.58%. Pemberian kalsium eksogen yang ditambahkan pada tanaman tembakau mampu meningkatkan kandungan



Gambar 2. Histologi jaringan akar tanaman tembakau dengan mikroskop perbesaran 4x (A) kondisi normal/kontrol, (B) cekaman genangan, (C) cekaman genangan + kalsium. ed = endodermis; ep = epidermis; ae = aerenkim



Gambar 3. Nilai respon fisiologi tanaman tembakau terhadap cekaman genangan (A) Kandungan H₂O₂, (B) Kandungan Klorofil. HST = Hari Setelah Tanam

aktivitas enzim antioksidan yang dapat menekan kerusakan akibat kondisi stress, sehingga dapat mempertahankan pertumbuhannya pada fase bibit (Guan *et al.*, 2020).

Berdasarkan (Tabel 1), bobot segar dan bobot kering akar tanaman mengalami penurunan akibat terjadinya cekaman genangan. Dibandingkan dengan kontrolnya, penurunan tertinggi berat akar terdapat pada tanaman yang dicekam pada 35 HST. Pengaplikasian kalsium dengan dosis 11.5 g per tanaman mampu meningkatkan ketahanan akar dalam kondisi tergenang, sehingga penurunan yang

terjadi sangat rendah, yaitu sebesar 12.18% pada tanaman tembakau yang digenangi 28 HST. Berdasarkan Cotrozzi *et al.* (2021), cekaman genangan mengakibatkan stress oksidatif yang menyebabkan kerusakan pada akar tanaman. Syah *et al.* (2019) juga menyatakan cekaman genangan dapat merusak akar tanaman jagung pada tahap vegetatif, sehingga mengakibatkan penurunan bobot kering.

Biomassa tanaman merupakan salah satu parameter penting yang digunakan untuk mengetahui efek kerusakan yang diakibatkan oleh respon morfologi, anatomi dan

Tabel 1. Pengaruh aplikasi kalsium pada berbagai umur tanam terhadap tinggi tanaman, berat segar akar, berat kering akar dan biomassa tanaman tembakau yang diberi cekaman genangan

Perlakuan	Variabel			
	Tinggi tanaman (cm)	Bobot segar akar (g)	Bobot kering akar (g)	Biomassa (g)
Kontrol + Tanpa CaNO ₃	141.47ef	70.00bc	12.51bc	64.33cd
Kontrol + 8.5 g CaNO ₃	150.77de	69.00bc	12.49bc	72.00ab
Kontrol + 10 g CaNO ₃	162.13bc	74.00ab	13.37ab	69.00bc
Kontrol + 11.5 g CaNO ₃	195.22a	78.00a	14.05a	77.00a
21 HST + Tanpa CaNO ₃	154.73cd	48.50d	9.57ef	49.33gh
21 HST + 8.5 g CaNO ₃	154.77cd	50.50d	8.63fg	50.67gh
21 HST + 10 g CaNO ₃	159.57cd	45.00def	10.04e	55.33efg
21 HST + 11.5 g CaNO ₃	170.17b	52.00d	10.38e	61.33de
28 HST + Tanpa CaNO ₃	144.67ef	48.00de	9.82ef	61.00def
28 HST + 8.5 g CaNO ₃	153.37cde	48.50d	10.77de	61.67de
28 HST + 10 g CaNO ₃	157.43cd	64.50c	10.48de	70.33abc
28 HST + 11.5 g CaNO ₃	159.57cd	68.50bc	11.82cd	73.00ab
35 HST + Tanpa CaNO ₃	115.37h	32.00g	6.95hi	46.33h
35 HST + 8.5 g CaNO ₃	116.43h	39.50f	7.40gh	55.00efg
35 HST + 10 g CaNO ₃	117.47h	40.50ef	6.95hi	46.33h
35 HST + 11.5 g CaNO ₃	131.83g	39.00fg	6.19i	54.33fg

Keterangan: HST = hari setelah tanam. Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut DMRT α = 5%

fisiologi tanaman tembakau pada kondisi stress. Tabel 1 menunjukkan bahwa biomassa tanaman tembakau secara signifikan menurun akibat cekaman genangan yang diberikan. Presentase penurunan tertinggi yaitu 32.85% pada penggenangan 35 HST tanpa kalsium. Aplikasi kalsium sebanyak 11.5 g per tanaman pada penggenangan 28 hari setelah tanam memiliki presentase penurunan biomassa yang rendah yaitu 5.19%. Kalsium sebagai Ca^{2+} berperan dalam menjaga integritas dinding sel tanaman untuk menghindari stress oksidatif selama kondisi tergenang. Pengurangan dampak negatif dari stress oksidatif akan memberikan dampak baik bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Aslam *et al.*, 2021)

Respon fisiologi dan morfologi tanaman tembakau akibat cekaman genangan saling memiliki keterkaitan dan mempengaruhi satu dengan yang lainnya. Hal ini dibuktikan dengan adanya korelasi yang kuat antara karakter fisiologi dan morfologi tanaman yang diamati (Tabel 2.). Kandungan H_2O_2 sebagai ROS memiliki nilai korelasi negatif yang cukup kuat terhadap karakter pertumbuhan (morfologi) dan kandungan klorofilnya. Khan & Khan, (2017), menunjukkan kondisi stress abiotik menyebabkan tingginya produksi

ROS di kloroplas pada sistem tilakoid yang mengakibatkan penangkapan cahaya untuk proses PSI dan PSII terhambat. Zeng *et al.* (2021), menyatakan bahwa berkurangnya kandungan klorofil pada tanaman menyebabkan asimilasi karbon dan distribusi fotosintesis terganggu, sehingga hasil pada tanaman menurun. Penelitian ini membuktikan bahwa kandungan H_2O_2 tinggi menyebabkan kandungan klorofil menurun sehingga dapat menghambat pertumbuhan tanaman.

Berdasarkan indeks sensitivitas tanaman terhadap cekaman genangan dan pemberian pupuk kalsium (Tabel 3.) menunjukkan bahwa tembakau memiliki nilai sensitivitas yang berbeda ketika mendapatkan cekaman genangan pada usia dan pemberian dosis kalsium yang berbeda. Terdapat 3 klasifikasi nilai toleransi yang didapat, yaitu toleran, medium toleran dan sensitive. Nilai indeks sensitivitas yang didapat yaitu berdasarkan rata-rata dari beberapa variabel pengamatan. Tembakau yang diberi cekaman genangan pada 28 HST menunjukkan nilai indeks medium toleran. Pengaplikasian pupuk kalsium 10 g per tanaman juga menunjukkan nilai indeks medium toleran. Penggenangan 35 HST menunjukkan nilai indeks sensitive pada tanaman

Tabel 2. Korelasi antara karakter morfologi dan fisiologi tembakau di bawah cekaman genangan dan pengaplikasian kalsium

	Tinggi tanaman	Bobot segar akar	Bobot kering akar	Biomassa	Klorofil	H_2O_2
Tinggi tanaman	1					
BS akar	0.71	1				
BK akar	0.78	0.93	1			
Biomassa	0.68	0.89	0.86	1		
Klorofil	0.65	0.90	0.89	0.89	1	
H_2O_2	-0.78	-0.83	-0.83	-0.80	-0.77	1

Tabel 3. Indeks sensitivitas tanaman tembakau di bawah perlakuan cekaman genangan dan pemberian kalsium

Perlakuan	Variabel				Rata-rata	Indeks sensitivitas
	TT	BM	BA	KL		
21 HST + Tanpa $CaNO_3$	-5.9	0.9	1.0	1.4	-0.7	T
21 HST + 8.5 g $CaNO_3$	-1.7	1.2	1.3	1.1	0.5	MT
21 HST + 10 g $CaNO_3$	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	MT
21 HST + 11.5 g $CaNO_3$	8.1	1.0	0.9	0.7	2.6	S
28 HST + Tanpa $CaNO_3$	-0.4	1.2	0.9	1.4	0.8	MT
28 HST + 8.5 g $CaNO_3$	-0.3	0.8	2.5	0.8	0.9	MT
28 HST + 10 g $CaNO_3$	0.5	1.2	-0.3	1.1	0.6	MT
28 HST + 11.5 g $CaNO_3$	3.4	0.9	0.9	0.8	1.5	S
35 HST + Tanpa $CaNO_3$	0.7	0.9	1.0	1.3	1.0	S
35 HST + 8.5 g $CaNO_3$	0.9	0.9	0.8	1.0	0.9	MT
35 HST + 10 g $CaNO_3$	1.1	1.0	1.2	0.9	1.0	MT
35 HST + 11.5 g $CaNO_3$	1.3	1.2	1.0	0.8	1.1	S

Keterangan: HST = hari setelah tanam; TT = Tinggi tanaman; BM = Biomassa; BA = Berat akar; KL = Klorofil; T = Toleran; MT = Medium toleran; S = Sensitif

tanpa pemberian kalsium. Indeks sensitivitas tanaman pada kondisi tergenang berpengaruh terhadap tingkat toleransi dan dapat dijadikan sebagai indikator penurunan hasil. Liu *et al.* (2020) menyampaikan bahwa fase pertumbuhan yang berbeda memiliki tingkat kehilangan hasil yang bervariasi ketika tergenang, hal ini berkaitan erat dengan tingkat sensitivitas tanaman dalam merespon cekaman genangan.

KESIMPULAN

Cekaman genangan mengakibatkan perubahan struktur anatomi stomata serta merusak struktur perakaran tanaman tembakau. Meningkatnya kandungan H₂O₂ dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan tanaman. Pemberian kalsium dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman genangan dilihat dari berbagai respon morfologi maupun fisiologinya. Kalsium yang diaplikasikan pada tanaman tembakau mampu menekan keberadaan H₂O₂ sebagai ROS (*Reactive Oxygen Species*) sehingga dapat mempertahankan pertumbuhannya di bawah cekaman genangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universal PT. Tempu Rejo Indonesia atas dukungan pembiayaan dan fasilitas penelitian ini. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Center for Development of Advanced Science and Technology (CDAST) Universitas Jember yang telah memberikan fasilitas untuk analisis biokimia serta histologi jaringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Albrechtová, J., Z. Kubínová, A. Soukup. 2014. Essential methods of plant sample preparation for light microscopy. *Method in Molecular Biol.* 1080:67-76.
- Aslam, S., N. Gul, M.A. Mir, M. Asgher, N.A. Sulami, A.A. Abulfaraj, S. Qari. 2021. Role of jasmonates, calcium, and glutathione in plants to combat abiotic stresses through precise signaling cascade. *Front. Plant Sci.* 12:1-29.
- Bharath, P., S. Gahir, A.S. Raghavendra. 2021. Abscisic acid-induced stomatal closure: an important component of plant defense against abiotic and biotic stress. *Front. Plant Sci.* 12:1-18.
- Biswas, J.C., N. Kalra. 2018. Effect of waterlogging and submergence on crop physiology and growth of different crops and its remedies: Bangladesh perspectives. *Saudi J. Eng. Technol.* 3:315-329.
- Cotrozzi, L., G. Lorenzini, C. Nali, C. Pisuttu, S. Pampana, E. Pellegrini. 2021. Transient waterlogging events impair shoot and root physiology and reduce grain yield of durum wheat cultivars. *Plants* 10:1-19.
- Fischer, R.A., R. Maurer. 1978. Drought stress in spring wheat cultivars: grain yield responses. *J. Agric.* 29:897-912.
- Guan, X., C. Sui, Z. Chen, C. Lv, K. Luo, J. Chen, W. Wu. 2020. Exogenous calcium treatments improve growth, photosynthesis and resistance of tobacco seedlings under low light stress and transcriptome analysis. *Int. J. Agric. Biol.* 24:909-917.
- He, L., B. Li, X. Lu, L. Yuan, Y. Yang, Y. Yuan, J. Du, S. Guo. 2015. The effect of exogenous calcium on mitochondria, respiratory metabolism enzymes and ion transport in cucumber roots under hypoxia. *Sci. Rep.* 5:1-14.
- He, L., L. Yu, B. Li, N. Du, S. Guo. 2018. The effect of exogenous calcium on cucumber fruit quality, photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and fast chlorophyll fluorescence during the fruiting period under hypoxic stress. *BMC Plant Biol.* 18:1-10.
- Hu, W., S.B. Tian, Q. Di, S.H. Duan, K. Dai. 2018. Effects of exogenous calcium on mesophyll cell ultrastructure, gas exchange, and photosystem II in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) under drought stress. *Photosynthetica* 56:1204-1211.
- Jethva, J., R.R. Schmidt, M. Sauter, J. Selinski. 2022. Try or die: dynamics of plant respiration and how to survive low oxygen conditions. *Plants* 11:1-30.
- Junglee, S., L. Urban, H. Sallanon, F.L. Lauri. 2014. Optimized assay for hydrogen peroxide determination in plant tissue using potassium iodide. *Am. J. Anal. Chem.* 5:730-736.
- 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.
- Lisuma, J., E. Mbega, P. Ndakidemi. 2020. Influence of tobacco plant on macronutrient levels in sandy soils. *Agronomy* 10:1-15.
- Liu, K., M.T. Harrison, S. Shabala, H. Meinke, I. Ahmed, Y. Zhang, X. Tian, M. Zhou. 2020. The state of the art in modeling waterlogging impacts on plants: what do we know and what do we need to know. *Earth's Future* 8:1-19.
- Ni, X.L., M.Y. Gui, L.L. Tan, Q. Zhu, W.Z. Liu, C.X. Li. 2019. Programmed cell death and aerenchyma formation in water-logged sunflower stems and its promotion by Ethylene and ROS. *Front. Plant Sci.* 9:1-16.

- Nurhidayati, T., R.Y. Rahman, H. Purnobasuki, S. Hariyanto, N. Jadid. 2018. Particular variety of tobacco (*Nicotiana tabacum*) exhibits distinct morphological and physiological responses against periodic waterlogging stress. *J. Phys. Conf. Ser.* 1028:1-5.
- Nurhidayati, T., W.Y. Safitri, H. Purnobasuki, S. Hariyanto. 2021. Response of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) under waterlogging stress based on agronomic characters. *AIP Conf. Proc.* 2349:1-8.
- Ou, L.J., Z.B. Liu, Y.P. Zhang, X.X. Zou. 2017. Effects of exogenous Ca^{2+} on photosynthetic characteristics and fruit quality of pepper under waterlogging stress. *Chil. J. Agric. Res.* 77:126-133.
- 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.
- Süß, A., M. Danner, C. Obster, M. Locherer, T. Hank, K. Richter. 2015. Measuring Leaf Chlorophyll Content with the Konica Minolta SPAD-502Plus. *EnMAP F. Guid. Tech. Report, GFZ Data Serv, Germany.*
- Syah, U.T., W.B. Suwarno, M. Azrai. 2019. Karakter seleksi fase vegetatif untuk adaptasi cekaman genangan air pada jagung. *J. Agron. Indonesia* 47:134-140.
- Todorova, D., V. Aleksandrov, S. Anev, I. Sergiev. 2022. Photosynthesis alterations in wheat plants induced by herbicide, soil drought or flooding. *Agronomy* 12:1-13.
- Wang, X., Z. Deng, W. Zhang, Z. Meng, X. Chang, M. Lv. 2017. Effect of waterlogging duration at different growth stages on the growth, yield and quality of cotton. *PLoS One* 12:1-14.
- Yamauchi, T., T.D. Colmer, O. Pedersen, M. Nakazono. 2018. Regulation of root traits for internal aeration and tolerance to soil waterlogging-flooding stress. *Plant Physiol.* 176:1118-1130.
- 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.