

Efek Pemberian Kalsium Eksogen terhadap Kualitas dan Hasil Tanaman Tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) di Bawah Cekaman Genangan

Hidayat¹, Parawita Dewanti², dan Kacung Hariyono^{2*}

¹Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember

²Program Studi Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember

Jl. Tegalboto No. 37 Sumbersari, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa timur 68121

*Alamat korespondensi: kacunghariyono.faperta@unej.ac.id

INFO ARTIKEL	ABSTRACT/ABSTRAK
Diterima: 18-10-2022 Direvisi: 20-03-2023 Dipublikasi: 30-04-2023	The Effect of Exogenous Calcium on Quality and Yiel of Tobacco (<i>Nicotiana tabacum</i> L.) under Waterlogging Stress
Keywords: Adaptation, CaNO ₃ , Nicotin, Proline, Shoot root ratio	Tobacco (<i>Nicotiana tabacum</i> L.) is a plantation commodity with high economic value. The main challenge in cultivating tobacco is its high susceptibility to waterlogging, which can lower its quality and production. This research aimed to determine the application of exogenous calcium (CaNO ₃) on tobacco plants that were subjected to waterlogging stress at different plant ages, and its impact on the quality and yield of tobacco. The research was conducted from January to May 2022 at PT. Tempu Rejo, Jember Regency, East Java. The study used a Completely Randomized Design (CRD) with 2 factors. The first factor was waterlogging stress by adding water up to 110% field capacity at various ages of tobacco plants (control/normal watering, planting age of 3 weeks, 4 weeks and 5 weeks). The second factor was the application of exogenous calcium with different doses (0 g, 8.5 g, 10 g and 11.5 g). The results showed that the application of exogenous calcium on tobacco plants affected the physiological response, yield, and quality of tobacco plants that were subjected to waterlogging stress at various plant ages. The plants at 4 weeks old showed a high level of adaptation to waterlogging stress. The application of 11.5 g of exogenous calcium significantly influenced growth response (shoot-root ratio), physiological response (chlorophyll and proline), quality (nicotine and chlorine), and yield of tobacco plants that were subjected to waterlogging stress.
Kata Kunci: Adaptasi, CaNO ₃ , Nikotin, Prolin, Ratio tajuk akar	Tembakau (<i>Nicotiana tabacum</i> L.) merupakan komoditas tanaman perkebunan yang memiliki nilai ekomonis tinggi. Kendala utama dalam budidaya tanaman tembakau adalah tingkat kerentanannya yang cukup tinggi terhadap kondisi genangan, sehingga mampu menurunkan kualitas serta produksinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aplikasi kalsium eksogen (CaNO ₃) pada tanaman tembakau yang diberi cekaman genangan pada umur tanaman berbeda terhadap kualitas serta hasil tembakau. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai Mei 2022 di PT. Tempu Rejo, Kabupaten Jember, Jawa timur. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap 2 faktor. Faktor pertama adalah penggenangan dengan menambahkan air hingga 110% kapasitas lapang pada berbagai umur tanaman tembakau (kontrol/pengairan normal, umur tanam 3 minggu, 4 minggu dan 5 minggu). Faktor kedua yaitu aplikasi kalsium eksogen dengan dosis yang berbeda (0 g, 8,5 g, 10 g dan 11,5 g). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kalsium eksogen yang diaplikasikan pada tanaman tembakau berdampak pada respon fisiologi serta hasil dan kualitas tanaman tembakau yang digenangan pada berbagai umur tanam. Tanaman pada umur 4

minggu menunjukkan tingkat adaptasi yang tinggi terhadap cekaman genangan. Pengaplikasian kalsium kalsium eksogen 11,5 g berpengaruh nyata terhadap respon pertumbuhan (ratio tajuk akar), respon fisiologi (klorofil dan prolin), kualitas (nikotin dan klorin) serta hasil panen tanaman tembakau yang tercekaman genangan.

PENDAHULUAN

Tembakau merupakan salah satu komoditas perkebunan yang banyak dibudidayakan di Indonesia salah satunya adalah di kabupaten Jember. Kualitas serta hasil tanaman tembakau yang dihasilkan banyak dipengaruhi oleh sistem budidaya dan juga proses pasca petik. Kendala yang sering dijumpai pada proses budidaya tanaman tembakau adalah curah hujan tinggi yang dapat menyebabkan penggenangan. Genangan merupakan cekaman abiotik yang umumnya berdampak pada menurunnya kualitas serta hasil tanaman tembakau.

Fenomena yang terjadi pada proses budidaya tanaman tembakau adalah tingkat kerentanan yang tinggi dalam merespon cekaman genangan pada fase tertentu. Penggenangan terjadi akibat intensitas hujan yang cukup tinggi sehingga terjadi kelebihan debit air pada lahan budidaya. Menurut Sharma *et al.* (2021) Cekaman abiotik yang disebabkan oleh kondisi lahan tergenang dapat memunculkan banyak dampak kerusakan. Selain terganggunya proses metabolisme, genangan juga menyebabkan tingkat kelembaban lingkungan yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan keberadaan organisme pengganggu tanaman.

Penggenangan dapat terjadi pada berbagai fase umur tanaman seperti pembibitan, fase pertumbuhan (vegetatif), pembungaan hingga pemetikan. Wang *et al.* (2017) menyatakan bahwa fase kritis cekaman genangan pada tanaman terjadi ketika awal fase (*squaring stage*) yaitu usia pembibitan. Zeng *et al.* (2021) dalam penelitiannya juga menunjukkan penurunan hasil tanaman kacang tanah dipengaruhi oleh genangan yang terjadi pada fase pembungaan dan pembibitan. Cekaman yang terjadi selama fase pertumbuhan tanaman akan berdampak pada hasil serta kualitas daun yang dihasilkan. Nurhidayati *et al.* (2021) melaporkan penurunan karakteristik agronomi beberapa jenis tanaman tembakau yang diberi perlakuan genangan.

Pemberian kalsium eksogen merupakan salah satu solusi untuk mempertahankan hasil serta kualitas tanaman tembakau yang mengalami hambatan berupa cekaman genangan selama proses

budidayanya. Park & Waterland (2021) menyatakan bahwa kalsium eksogen yang bersumber dari CaNO_3 dapat menjadi kandidat antitranspirasi dan berfungsi sebagai sinyal sekunder terkait respons fisiologis maupun biokimia tanaman. Guan *et al.*, (2020) menyatakan penambahan kalsium eksogen dapat meningkatkan pertumbuhan bibit tanaman tembakau. Yang *et al.* (2016) menyatakan bahwa aplikasi kalsium eksogen dapat meregulasi aktifitas sistem antioksidan, respirasi akar, dan kandungan zat osmotik sehingga dapat mengurangi bahaya yang disebabkan oleh cekaman genangan.

Hu *et al.* (2018) menyatakan bahwa toleransi tanaman terhadap kondisi stress abiotik dapat ditingkatkan dengan pemberian pupuk kalsium. He *et al.* (2015) melaporkan bahwa aplikasi kalsium secara signifikan berpengaruh pada beberapa karakter fisiologi tanaman serta kualitas dan hasil tanaman budidaya di bawah kondisi cekaman genangan. Pengaplikasian kalsium eksogen yang diberikan pada tanaman tembakau di dalam penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan toleransi tanaman pada berbagai fase pertumbuhan. Penelitian ini diperlukan agar tanaman tembakau mampu beradaptasi serta dapat mempertahankan hasil dan kualitasnya.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari sampai Mei 2022 di lahan percobaan milik PT. Tempu Rejo, Kabupaten Jember, Jawa timur. Percobaan diawali dengan melakukan persemaian biji tanaman tembakau cerutu (*Nicotiana tabacum* L. Var. Besuki H-382) selama 45 hari pada media pembibitan. Bibit tembakau yang berumur 45 hari setelah semai dipindahkan pada polibag ukuran diameter 30 cm dan tinggi 45 cm yang telah dicampur media tanam dan pupuk dasar. Pemilihan bibit sebagai bahan tanaman adalah memiliki bentuk daun yang sempurna serta bebas dari kerusakan akibat mekanis maupun pengaruh dari organisme pengganggu tanaman.

Aplikasi Pupuk Kalsium

Kalsium eksogen dalam bentuk CaNO_3 diaplikasikan pada tanaman tembakau umur 14 Hari

Setelah Tanam (HST). Metode pengaplikasian kalsium yaitu dengan cara ditabur pada masing masing media taman. Kalsium diberikan sebagai perlakuan dengan 4 taraf dosis yang berbeda (0 g, 8,5 g, 10 g dan 11,5 g). Kalsium diaplikasikan sebelum perlakuan cekaman genangan dengan tujuan agar tanaman memiliki daya adaptasi yang baik ketika menerima stress berupa penggenangan.

Perlakuan Cekaman Genangan

Perlakuan cekaman genangan dilakukan dengan cara memberi air hingga 110% kapasitas lapang dan dipastikan ketinggian air terjaga hingga 2 x 24 jam perendaman. Penentuan kapasitas lapang tanah sebagai acuan untuk penggenangan dilakukan sebagai berikut (Haridjaja dkk., 2013):

- a. Menentukan berat kering angin tanah sebagai standar 0% kapasitas lapang (KL).
- b. Merendam sampel tanah (berat kering angin) ke dalam air hingga jenuh dan semua pori tanah terisi oleh air.
- c. Meniriskan tanah yang sudah direndam hingga air tidak menetes (sebagai standart 100% KL).
- d. Penggenangan 110 KL yaitu dengan menambahkan sejumlah air pada polibag sebagai media tanam hingga mencapai berat tanah 110% KL.

Penggenangan disesuaikan dengan beberapa taraf perlakuan yang telah dibuat. Penggenangan diberikan pada beberapa umur tanaman tembakau (pengairan optimal sebagai kontrol, cekaman genangan pada tanaman umur 3 minggu, 4 minggu dan 5 minggu).

Parameter Pertumbuhan Tanaman Tembakau

Pengukuran pertumbuhan tanaman tembakau diamati dengan mengukur berat tajuk (batang, daun) dan akar. Penentuan ratio tajuk dan akar tanaman tembakau dilakukan dengan membandingkan berat total tajuk tanaman (g) dengan berat akar tanaman (g). Besarnya nilai ratio tajuk dan akar dapat menjadi indikasi adanya ketidakseimbangan pertumbuhan antara akar dan tajuknya (Nurhidayati *et al.*, 2021).

Analisis Respon Fisiologi dan Biokimia

Parameter fisiologi yang digunakan adalah dengan menganalisis kandungan kalsium jaringan (%), klorofil daun (mg/g berat segar), dan kandungan prolin jaringan ($\mu\text{mol/g}$). Analisis kandungan klorofil daun dengan menggunakan spektrofotometer 665 nm dan 649 nm dengan pelarut ethanol 90% (Ritchie, 2006). Pengukuran kandungan prolin pada daun

menggunakan spektrofotometer 520 nm dengan pelarut sulfosalicylic acid 3% dan toluene (Bates, 1973).

Kualitas dan Hasil Tanaman Tembakau

Kualitas daun tembakau yang dihasilkan dapat diketahui dengan menganalisis beberapa kandungan bahannya seperti nikotin daun (%) dan uji daya bakar atau kandungan klorin (%). Penentuan kandungan nikotin pada daun dilakukan dengan menggunakan analisis kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC) pada hasil ekstraksi daun menggunakan HP1100 HPLC-*Instrument* (Kheawfu *et al.*, 2021). Kandungan klorin sebagai uji mutu daya bakar dianalisis menggunakan metode elektroda selektif untuk ion *clorida* yaitu Thermo Scientific Orion 9617BNWP (Tabaxi *et al.*, 2020). Penentu hasil dan produksi daun tembakau dilakukan dengan mengamati beberapa parameter yaitu berat basah dan berat kering daun (g) serta rendemen yang dihasilkan (%). Perhitungan kandungan rendemen daun dilakukan setelah diketahui berat basah (bb) dan berat kering (bk) daun hasil petikan.

Analisis Data

Analisis yang digunakan untuk semua parameter menggunakan Analysis of Variant (ANOVA) sehingga dapat diketahui perbedaan rata rata antar populasi secara keseluruhan. Ketika uji ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan, uji lanjut yang digunakan yaitu dengan test DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) menggunakan taraf kepercayaan 95%. Analisis lanjutan dengan menggunakan DMRT bertujuan untuk mengetahui interaksi pada seluruh kombinasi perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Pertumbuhan dan Nilai Ratio Tajuk Akar Tanaman Tembakau

Terdapat perbedaan berat pucuk dan berat akar tanaman yang diberi cekaman genangan pada umur tanam yang berbeda dan pengaplikasian kalsium. Data berat pucuk dan akar kemudian dapat digunakan untuk menghitung perbandingan atau rasionya (Nurhidayati *et al.* 2021). Data menunjukkan perbedaan nyata ratio tajuk dan akar terhadap cekaman genangan yang diberikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa cekaman genangan berpengaruh terhadap meningkatnya ratio tajuk dan akar (Tabel 1). Cekaman genangan yang diberikan pada umur tanam 5 Minggu menunjukkan peningkatan ratio tajuk akar tertinggi dengan nilai

7,35 dan merupakan nilai tertinggi dibandingkan dengan perlakuan lain. Tidak terdapat interaksi antara umur penggenangan dan dosis kalsium, dikarenakan umur tanaman saat penggenangan

digunakan untuk menentukan fase kritis sedangkan kalsium digunakan untuk mengetahui dosis terbaik dalam mempertahankan tanaman saat terjadi stress penggenangan.

Tabel 1. Berat pucuk, berat akar dan ratio tajuk akar tanaman tembakau di bawah cekaman genangan

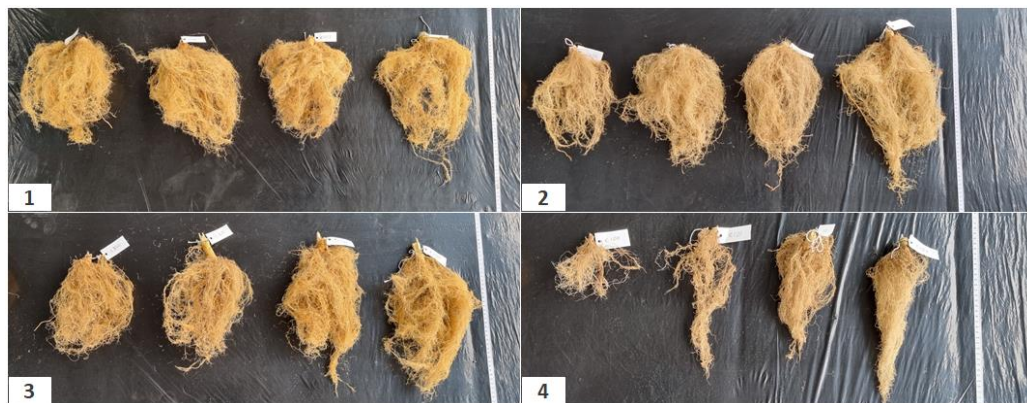
Umur tanaman saat digenangi	Variabel		
	Berat pucuk (g)	Berat akar (g)	Ratio pucuk akar
Kontrol + Tanpa CaNO ₃	51,82 cd	13,11 bc	3,95 a
Kontrol + 8,5 g CaNO ₃	59,51 ab	12,52 bc	4,75 bcd
Kontrol + 10 g CaNO ₃	55,63 bc	13,12 ab	4,23 a
Kontrol + 11,5 g CaNO ₃	62,95 a	14,56 a	4,32 ab
3 Minggu + Tanpa CaNO ₃	39,76 gh	9,67 ef	4,11 a
3 Minggu + 8,5 g CaNO ₃	42,04 gh	8,51 fg	4,94 bcde
3 Minggu + 10 g CaNO ₃	45,29 efg	9,73 c	4,65 abc
3 Minggu + 11,5 g CaNO ₃	50,95 dc	10,23 c	4,98 cde
4 Minggu + Tanpa CaNO ₃	51,18 def	10,12 ef	5,05 e
4 Minggu + 8,5 g CaNO ₃	50,90 dc	10,41 de	4,88 bc
4 Minggu + 10 g CaNO ₃	59,85 abc	10,67 de	5,60 f
4 Minggu + 11,5 g CaNO ₃	61,18 ab	11,66 cd	5,24 de
5 Minggu + Tanpa CaNO ₃	39,38 h	7,02 hi	5,60 f
5 Minggu + 8,5 g CaNO ₃	47,6 efg	7 gh	6,8 g
5 Minggu + 10 g CaNO ₃	39,38 h	7,64 hi	5,15 f
5 Minggu + 11,5 g CaNO ₃	48,14 fg	6,54 i	7,35 h

Keterangan: Nilai angka dengan huruf yang sama pada kolom perlakuan menunjukkan hasil tidak berbeda nyata (berdasarkan uji lanjut DMRT $\alpha = 5\%$)

Nilai ratio tajuk dan akar dapat menggambarkan kemampuan adaptasi tanaman pada kondisi tercekam. Besarnya nilai ratio tajuk dan akar dapat menjadi indikasi adanya ketidakseimbangan pertumbuhan antara akar dan tajuknya. Kondisi tergenang pada tanaman mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan akar sehingga proses transport air dan hara pada tajuk juga terhalang. Pentingnya mengetahui ratio tajuk akar adalah untuk mengetahui tingkat toleransi tanaman terhadap kondisi stress berkaitan dengan kemampuan metabolisme tanaman untuk menjaga keseimbangan osmotiknya. Hal tersebut juga diungkapkan oleh Agathokleous *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa ratio ajuk akar merupakan indeks penting dalam menilai kesehatan tanaman terhadap kondisi stress yang diakibatkan oleh faktor ekologi dan lingkungan.

Kondisi tergenang lebih menekan pertumbuhan akar dibandingkan pertumbuhan tajuknya sehingga nilai ratio tajuk dan akar yang tinggi menunjukkan bahwa tingkat sensitivitas tanaman dalam kondisi tergenang semakin tinggi. Kerusakan yang diakibatkan oleh cekaman genangan memengaruhi karakteristik perakaran tanaman tembakau (Gambar 1). Walne dan Reddy (2021),

Akar memiliki kemampuan dalam menyerap dan menjaga ketersediaan air dan nutrisi bagi tanaman. Cekaman genangan mengakibatkan kerusakan pada jaringan dan juga sel pada sistem perakaran sehingga seluruh metabolisme pengangkutan serta transport hara dan air terhambat. Gambar 1 menunjukkan berbagai kondisi perakaran tanaman pasca mengalami cekaman genangan dan pada fase penggenangan umur 5 minggu merupakan fase kritis tanaman dalam merespon stress yang ditandai dengan kondisi pertumbuhan akar yang paling terhambat dibandingkan dengan penggenangan pada fase 2, 3, dan 4 minggu. Wibisono dkk. (2022) dalam penelitiannya juga memaparkan bahwa cekaman genangan memengaruhi karakteristik morfologi akar yang berdampak pada perubahan berat segar akar. Zeng *et al.* (2022) menyebutkan kemampuan *recovery* tanaman terhadap kondisi stress akan lebih tinggi pada fase awal pertumbuhan dan semakin rentan ketika mendekati fase generatif. Oleh sebab itu hasil penelitian ini menunjukkan bahwa fase penggenangan umur 5 minggu mengakibatkan kemampuan *recovery* yang sangat kecil yang ditandai dengan rusaknya sistem perakaran dibandingkan fase umur yang lebih muda.



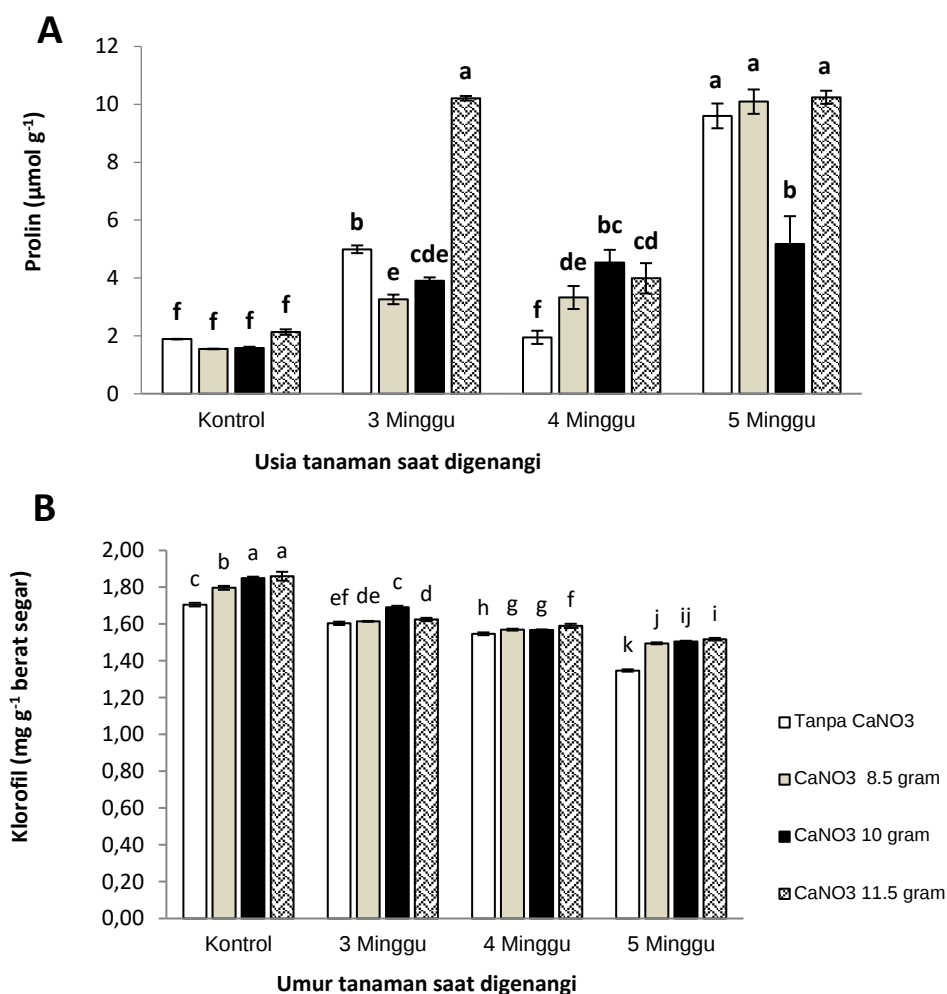
Gambar 1. Penampang akar tanaman tembakau yang tergenang pada umur tanaman berbeda (1) kondisi normal/kontrol, (2) umur 3 minggu, (3) umur 4 minggu, (4) umur 5 minggu.

Respon Fisiologi dan Biokimia Tanaman Tembakau di Bawah Cekaman Genangan

Keberadaan prolin yang cukup tinggi kandungannya menandakan bahwa tanaman melakukan mekanisme secara alami untuk beradaptasi di bawah cekaman genangan (Gambar 2A). Tanaman yang tidak mengalami stress genangan (kontrol) memiliki kandungan prolin yang rendah. Pemberian kalsium 11,5 g menunjukkan peningkatan prolin tertinggi pada perlakuan cekaman genangan yaitu 10,24 $\mu\text{mol/g}$ (penggenangan umur 5 minggu). Kandungan prolin secara signifikan meningkat dengan adanya penambahan kalsium dibandingkan tanpa pemberian kalsium. Peningkatan tertinggi terdapat pada umur tanam 5 minggu. Kandungan prolin yang berbeda pada setiap fase penggenangan menunjukkan bahwa tanaman tembakau memiliki tingkat sensitivitas yang berbeda dan hasil penelitian menunjukkan bahwa fase penggenangan pada umur 3 minggu memiliki sensitivitas yang tinggi dibandingkan umur 4 minggu. Biosintesis prolin sebagai asam amino esensial merupakan metabolisme primer tanaman yang terakumulasi sebagai respon dalam mencegah kerusakan akibat kondisi cekaman. Barickman *et al.* (2019) menyatakan akumulasi prolin pada tanaman memiliki kemampuan untuk memediasi pengaturan tekanan osmotik di dalam sel tanaman sehingga dapat menjaga kestabilan serta menjaga status air (H_2O) dan konduktivitas hidrolitik tanaman selama kondisi tergenang.

Penurunan kandungan klorofil terjadi karena pengaruh cekaman genangan. Diketahui presentase

penurunan tertinggi yaitu sebesar 20,99% dengan kandungan klorofil 1.35 mg/g pada perlakuan genangan pada umur tanam 5 minggu dan tanpa pemberian kalsium. Menurut Zainul dkk. (2022), pemberian air 70-110% kapasitas lapang dapat dikategorikan sebagai cekaman genangan yang mengakibatkan terjadinya hipoksia (penurunan konsentrasi oksigen) yang menyebabkan tanaman mengalami klorosis. Pengaplikasian kalsium dapat mengurangi terjadinya penurunan kandungan klorofil pada semua perlakuan penggenangan. Kalsium yang diaplikasikan mampu mengurangi hambatan yang terjadi sebagai penyebab kurang efisiensinya proses fotosintesis pada tanaman tembakau. Tanaman mampu menjalankan metabolisme fisiologi seperti fotosintesis walaupun dengan keberadaan kandungan klorofil yang sangat terbatas akibat cekaman genangan yang terjadi. Rendahnya kandungan klorofil juga dipengaruhi oleh produksi berlebih *reactive oxygen species* (ROS) sebagai komponen perusak. Penelitian yang dilakukan oleh Mahmood *et al.* (2021) stress penggenangan dan salinitas dapat memengaruhi karakteristik fisiologi tanaman berupa degradasi kandungan klorofil dan pigmen lainnya seperti karotenoid. Kalsium eksogen yang diaplikasikan pada tanaman dapat meningkatkan efisiensi fotosintesis pada kondisi hipoksia dengan cara mengatur jalur pembuangan panas, sehingga dapat mengurangi dampak negatif dari stress hipoksia (He *et al.*, 2018).



Gambar 2. Karakteristik fisiologi tanaman tembakau di bawah cekaman genangan (A) kandungan prolin, (B) kandungan klorofil total.

Kualitas dan Hasil Panen Tanaman Tembakau

Beberapa parameter penting penentu kualitas tanaman tembakau disajikan pada Tabel 2. Parameter tersebut termasuk berat basah dan berat kering (rompos) daun tembakau yang dihasilkan mulai dari petik pertama hingga terakhir, perhitungan rendemen dan analisis kandungan nikotin serta uji daya bakar (kandungan klorin). Lisuma *et al.* (2020) menyatakan bahwa hasil dan kualitas tanaman tembakau dipengaruhi oleh penambahan kalsium eksogen sebagai *macronutrient*. Penambahan kalsium dapat meningkatkan biomassa dan berat kering tanaman. Penelitian ini menunjukkan bahwa pemberian kalsium mampu menekan penurunan kandungan nikotin pada tanaman tembakau (Tabel 2). Hal ini dibuktikan pada tanaman tembakau yang digenangi pada umur 4 Minggu dengan pemberian kalsium 8,5 g memiliki presentase penurunan nikotin terendah yaitu 8,97%. Anuradha *et al.* (2013) dalam penelitiannya menyampaikan bahwa kualitas daun

tembakau kering yang dihasilkan memiliki kandungan nikotin yang bervariasi. Perlakuan cekaman genangan yang diberikan pada tanaman tembakau menyebabkan kandungan nikotin mengalami penurunan, begitu pula dengan kandungan gula pada daun. Penurunan kandungan nikotin yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh lama penggenangan minimal 48 jam.

Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa keberadaan kalsium pada jaringan tanaman memengaruhi keberadaan prolin sebagai osmoprotektan dan juga respon fisiologi lainnya seperti kandungan klorofil. Korelasi pada Tabel 3 menunjukkan nilai hubungan antara kalsium jaringan dan keberadaan prolin yang berkorelasi negatif sebesar 69%. Biosintesis prolin sebagai asam amino esensial merupakan metabolisme primer tanaman yang terakumulasi sebagai respon dalam mencegah kerusakan akibat kondisi cekaman. Barickman *et al.* (2019) menyatakan akumulasi prolin

pada tanaman memiliki kemampuan untuk memediasi pengaturan tekanan osmotik di dalam sel tanaman sehingga dapat menjaga kestabilan serta menjaga konduktifitas hidrolitik tanaman selama kondisi tergenang. Artinya semakin besar prolin yang terakumulasi di dalam jaringan tanaman menandakan bahwa tanaman memiliki tingkat cekaman yang tinggi. Pemberian kalsium mampu meningkatkan kemampuan adaptasi tanaman tembakau di bawah cekaman genangan sehingga akumulasi prolin di

dalam jaringan tanaman tidak meningkat. Kalsium berinteraksi positif dengan kandungan klorofil jaringan yang artinya bahwa pengaplikasian kalsium mampu mempertahankan fisiologi tanaman sehingga tetap dapat melangsungkan metabolisme. Hal tersebut tentunya juga berpengaruh terhadap kandungan nikotin sebagai parameter kualitas hasil panen dan juga berat kering daun yang diproduksi.

Tabel 2. Parameter kualitas dan hasil petik daun tembakau pada berbagai cekaman genangan pada umur tanaman berbeda dan pengaplikasian kalsium

Variabel	Dosis CaNO ₃	Fase penggenangan pada berbagai umur			
		Kontrol	3 minggu	4 minggu	5 minggu
Nikotin (%)	0 g	0,97 a	0,53 cd	0,51 cd	0,34 e
	0,85 g	0,91 ab	0,56 cd	0,83 b	0,62 c
	10 g	0,92 ab	0,6 c	0,5 cd	0,46 de
	11,5 g	1 a	0,9 ab	0,59 cd	0,36 e
Klorin (%)	0 g	0,81 hi	0,86 i	0,76 fgh	0,75 efg
	0,85 g	0,49 a	0,64 bcd	0,61 bc	0,64 bcd
	10 g	0,58 b	0,71 def	0,59 b	0,73 efg
	11,5 g	0,68 cde	0,74 efg	0,69 def	0,79 ghi
Kalsium jaringan (%)	0 g	2,7 c	2,09 g	2,22 ef	1,86 i
	0,85 g	2,8 b	2,05 gh	2,57 d	1,79 j
	10 g	2,8 b	2,19 f	2,27 e	1,73 j
	11,5 g	3,05 a	2,20 ef	2,63 cd	1,99 h
Berat basah daun (g)	0 g	344,33 ab	234,67 f	279,33 de	144,33 i
	0,85 g	371,33 a	222 fg	315,67 bc	199 gh
	10 g	352,67 a	246,33 f	304 cde	198,33 gh
	11,5 g	346,33 a	276,33 e	311,33 c	189,67 h
Berat kering daun (g)	0 g	44,84 a	27,51 d	31,99 c	16,64 g
	0,85 g	46,28 a	26,23 d	37,49 b	23,19 e
	10 g	45,59 a	28,58 d	33,25 b	23,19 e
	11,5 g	44,62 a	32,64 c	34,76 c	19,72 f
Rendemen (%)	0 g	13,03 a	11,92 abc	11,44 bcd	11,86 abc
	0,85 g	12,52 ab	11,95 abc	11,91 abc	11,80 abc
	10 g	12,96 a	11,59 bcd	11,06 cd	11,93 abc
	11,5 g	12,94 a	11,99 abc	11,16 cd	10,55 d

Tabel 3. Korelasi antara fisiologi dengan kualitas dan hasil tembakau di bawah cekaman genangan dan pengaplikasian kalsium

	Kalsium	Prolin	Klorofil	Nikotin	Rompos
Kalsium	1				
Prolin	-0.6934	1			
Klorofil	0.8262*	-0.6687	1		
Nikotin	0.7994*	-0.4682	0.8105*	1	
Rompos	0.9361*	-0.7457*	0.8610*	0.8815*	1

Keterangan: (-) Korelasi negatif, (*) Berbeda nyata. Signifikan pada taraf nyata 0,05.

SIMPULAN

Fase kritis tanaman tembakau dalam merespon cekaman genangan terjadi pada penggengan tanaman pada umur 5 minggu yang ditandai dengan ketidakmampuan tanaman dalam mempertahankan kualitas serta hasil panennya. Pemberian kalsium eksogen (CaNO_3) mampu meningkatkan toleransi tanaman tembakau di bawah cekaman genangan berdasarkan nilai ratio tajuk akar, serta mampu mempertahankan karakteristik fisiologi, pertumbuhan, produksi dan kualitas tembakau.

DAFTAR PUSTAKA

- Agathokleous, E, RG Blez, M Kitao, T Koike, and EJ Calabrese. 2018. Does the root to shoot ratio show a hormetic response to stress? an ecological and environmental perspective. *Journal of Forestry Research*. 30(5): 1569-1580.
- Anuradha, M, K Sivaraju, and V Krishnamurthy, 2013. Effect of waterlogging on physiological characteristics, yield and quality of flue-cured tobacco. *Indian Journal of Plant Physiology*. 18(1): 67-70.
- Barickman, TC, CR Simpson, and CE Sams. 2019. Waterlogging Causes Early Modification in the physiological performance, carotenoids, chlorophylls, proline, and soluble sugars of cucumber plants. *Plants*. 8(6):160. <https://doi.org/10.3390/plants8060160>.
- Bates, LS, RP Waldren, and ID Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*. 39: 205-207.
- Guan, X, C Sui, Z Chen, C Lv, K Luo, J Chen, and W Wu. 2020. Exogenous calcium treatments improve growth, photosynthesis and resistance of tobacco seedlings under low light stress and transcriptome analysis. *International Journal of Agriculture and Biology*. 24(4): 909-917.
- Haridjaja, O, DPT Baskoro, dan M Setianingsih. 2013. Perbedaan nilai kadar air kapasitas lapang berdasarkan metode Alhricks, drainase bebas dan preasure plate pada berbagai tekstur tanah dan hubungannya dengan pertumbuhan bunga matahari (*Helianthus annus* L.). *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. 15(2): 52-59.
- He, L, B Li, X Lu, L Yuan, Y Yang, Y Yuan, J Du, and S Guo, 2015. The effect of exogenous calcium on mitochondria, respiratory metabolism enzymes and ion transport in cucumber roots under hypoxia. *Scientific Reports*. 5:11391. doi: 10.1038/srep11391.
- He, L, L Yu, B Li, N Du, and 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 Biology*. 18(1):180. DOI: 10.1186/s12870-018-1393-3.
- Hu, W, SB Tian, Q Di, SH Duan, and K Dai. 2018. Effects of exogenous calcium on mesophyll cell ultrastructure, gas exchange, and photosystem II in tobacco (*Nicotiana tabacum* Linn.) under drought stress. *Photosynthetica*. 56: 1204-1211.
- Kheawfu, K, A Kaewpinta, W Chanmahasathien, P Rachtanapun, and P Jantrawut, 2021. Extraction of nicotine from tobacco leaves and development of fast dissolving nicotine extract film. *Membranes* (Basel). 11(6):403. DOI: 10.3390/membranes11060403.
- Lisuma, J, E Mbega, and P Ndakidemi. 2020. Influence of tobacco plant on macronutrient levels in sandy soils. *Agronomy*. 10(3):418. DOI: 10.3390/agronomy10030418.
- Mahmood, U, S Hussain, S Hussain, B Ali, U Ashraf, S Zamir, SA Al-Robai, FO Alzahrani, C Hano, and MA El-Esawi. 2021. Morpho-physio-biochemical and molecular responses of maize hybrids to salinity and waterlogging during stress and recovery phase. *Plants*. 10(7):1345. DOI: 10.3390/plants10071345.
- Nurhidayati, T, W Y Safitri, H Purnomobasuki, and S Hariyanto. 2021. Response of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) under waterlogging stress based on agronomic characters. *AIP Conference Proceedings*. 2349:020019. DOI: 10.1063/5.0051852.
- Park, S, and NL Waterland. 2021. Evaluation of calcium application methods on delaying plant wilting under water deficit in bedding plants. *Agronomy*. 11(7):1383. DOI: 10.3390/agronomy11071383.
- Ritchie, RJ, 2006. Consistent sets of spectrophotometric chlorophyll equations for acetone, methanol and ethanol solvents. *Photosynthesis Research*. 89(1): 27-41.
- Sharma, S, J Sharma, V Soni, Hm Kalaji, and Ni Elsheery. 2021. Waterlogging tolerance: A review on regulative morpho-physiological

- homeostasis of crop plants. *Journal of Water and Land Development*. 49(4-6): 16-28.
- Tabaxi, I, I Roussis, S Karydogianni, I Kakabouki, A Kalivas, AE Folina, and D Bilalis. 2020. Effect of chloride content in irrigation water on yield and chemical composition of leaves of three oriental tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) cultivars. *Journal of Elementology*. 25(2): 581-594.
- Walne, CH, and KR Reddy. 2021. Developing functional relationships between soil waterlogging and corn shoot and root growth and development. *Plants (Basel)*. 10(10):2095. DOI: 10.3390/plants10102095.
- Wang, X, Z Deng, W Zhang, Z Meng, X Chang, and M Lv. 2017. Effect of waterlogging duration at different growth stages on the growth, yield and quality of cotton. *PLoS ONE*. 12(1):e0169029. DOI: 10.1371/journal.pone.0169029.
- Wibisono, VB, S Avivi, M Ubaidillah, dan S Hartatik. 2022. Karakteristik morfologi, fisiologi dan molekuler tanaman tebu toleran terhadap cekaman genangan. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 50(2): 218-225.
- Yang, BZ, ZB Liu, SD Zhou, LJ Ou, XZ Dai, YQ Ma, ZQ Zhang, WC Chen, XF Li, CL Liang, S Yang, and XX Zou. 2016. Exogenous Ca²⁺ alleviates waterlogging-caused damages to pepper. *Photosynthetica*. 54: 620-629.
- Zainul, LAB, S Soeparjono, dan TC Setiawati. 2022. Aplikasi pupuk silika untuk meningkatkan ketahanan tanaman cabai rawit (*Capsicum annum* L.) terhadap stress genangan. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 50(2): 172-179.
- Zeng, R, T Chen, X Wang, J Cao, X Li, X Xu, L Chen, Q Xia, Y Dong, L Huang, L Wang, J Zhang, and L Zhang. 2021. Physiological and expressional regulation on photosynthesis, starch and sucrose metabolism response to waterlogging stress in peanut. *Frontiers in Plant Science*. 12:601771. DOI: 10.3389/fpls.2021.601771.