

Karakteristik Morfologi, Fisiologi dan Molekuler Tanaman Tebu Toleran terhadap Cekaman Genangan

Morphological, Physiological and Molecular Characteristics of Sugarcane Tolerant to Waterlogging Stress

Viki Bayu Wibisono¹, Sholeh Avivi², Mohammad Ubaidillah³, dan Sri Hartatik^{2*}

¹Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember
Jl. Kalimantan Tegalboto No.37, Krajan Timur, Sumbersari
Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121, Indonesia

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

³Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember
Jl. Kalimantan Tegalboto No.37, Krajan Timur, Sumbersari
Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121, Indonesia

Diterima 20 April 2022/Disetujui 27 Juli 2022

ABSTRACT

Waterlogging stress reduced sugarcane yield by 15-45%. This study aimed to determine the morphological, physiological, and molecular response of sugarcane under waterlogging stress. This research was conducted from October 2021 to January 2022 at the Agrotechnology Departement Laboratory, Faculty of Agriculture, Jember University, East Java. The experiment was arranged using a randomized block factorial design. The first factor was the genotype of sugarcane with 6 levels (Bululawang, PS 862, Cening, PS 881, M3, M4). The second factor was the waterlogging period with 3 levels (30 DAT, 60 DAT, and 90 DAT). The third factor was waterlogging treatment (without waterlogging treatment and with waterlogging treatment). Several growth characteristics such as fresh root weight, stem diameter, plant height, leaf area surface, aerenchyma tissue, total chlorophyll, stomata density, H₂O₂, and antioxidant gene expression were investigated. The results showed that waterlogging stress had an impact on the formation of aerenchyma tissue, plant height, fresh root weight, leaf area, total chlorophyll, stomata density, hydrogen peroxide, and expression of antioxidant gene. Cening genotype showed the best response in terms of low decreasing percentage to morphological, physiological, and high antioxidant gene expression.

Keywords: antioxidant, flooding, resistance, reactive oxygen species, Cening

ABSTRAK

Cekaman genangan menyebabkan penurunan hasil 15-45% pada tanaman tebu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik morfologi, fisiologi, dan molekuler tanaman tebu toleran terhadap cekaman genangan. Percobaan dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember, Jawa Timur pada bulan September 2021-Februari 2022. Rancangan percobaan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) faktorial. Faktor pertama yaitu genotipe tebu dengan enam genotipe (Bululawang, PS 862, Cening, PS 881, M3, M4). Faktor kedua yaitu periode penggenangan dengan tiga taraf (30 hari, 60 hari, dan 90 hari). Faktor ketiga yaitu perlakuan cekaman genangan (tanpa cekaman genangan dan dengan cekaman genangan). Variabel pengamatan meliputi tinggi tanaman, luas permukaan daun, diameter batang, bobot segar akar, jaringan aerenkim, klorofil total, kerapatan stomata, kandungan H₂O₂, dan ekspresi gen antioksidan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cekaman genangan berdampak pada pembentukan jaringan aerenkim, penurunan bobot segar akar, perubahan tinggi tanaman, penurunan luas area daun, penurunan klorofil total, penurunan kerapatan stomata, peningkatan kandungan hidrogen peroksida dan ekspresi gen antioksidan. Genotipe Cening menunjukkan respon persentase penurunan yang rendah dibandingkan dengan kontrol tanpa cekaman pada variabel morfologi, fisiologis dan ekspresi gen antioksidan yang lebih tinggi.

Kata kunci: antioksidan, banjir, ketahanan, reactive oxygen species, Cening

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

PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang terjadi sebagai dampak perubahan iklim global (Kim *et al.*, 2019). Bencana banjir pada lahan pertanian menyebabkan tanaman berada dalam cekaman genangan (*waterlogging stress*) (Cabrera dan Lee, 2019). Kondisi tersebut menurunkan ketersediaan oksigen pada daerah perakaran sehingga dapat menghambat proses metabolisme tanaman (Syah *et al.*, 2019). Setiap tanaman memiliki kemampuan toleransi yang berbeda dalam menerima kondisi cekaman genangan. Pada jenis tanaman yang mempunyai toleransi rendah, genangan dapat menyebabkan kerusakan dan kematian.

Tebu merupakan salah satu tanaman yang memiliki kemampuan toleransi rendah terhadap cekaman genangan di fase awal pertumbuhan (Gomathi *et al.*, 2014). Tingkat toleransi terhadap cekaman genangan ditentukan oleh fase tumbuh, jenis air dan durasi penggenangan. Tanaman tebu kehilangan hasil antara 15 sampai 45 persen karena cekaman genangan (Gomathi *et al.*, 2014). Di sisi lain, tebu dalam fase vegetatif membutuhkan banyak air untuk pertumbuhannya (Hartatie *et al.*, 2020). Tebu pada fase vegetatif memiliki toleransi yang rendah terhadap cekaman genangan, hal itu dikarenakan keterbatasan kemampuan akar untuk mengatasi cekaman genangan air (Glaz *et al.*, 2004). Respon tanaman terhadap cekaman genangan air dapat ditunjukkan melalui respon morfologi, fisiologis, biokimia, dan molekuler (Rini *et al.*, 2020). Respon morfologi tanaman tebu di bawah genangan air ditunjukkan dengan perubahan tinggi tanaman, jumlah daun, bobot akar, pembentukan jaringan aerenkim, dan kerapatan stomata (Avivi *et al.*, 2018). Tanaman tebu yang mempunyai toleransi tinggi terhadap cekaman genangan ditunjukkan dengan pembentukan jaringan aerenkim, akar adventif dan kerapatan stomata yang tinggi (Ahmed *et al.*, 2013).

Tanaman mempunyai mekanisme ketahanan antioksidan enzimatis dan non-enzimatis, salah satunya yaitu ketahanan antioksidan yang berperan untuk mengatur stres oksidatif akibat meningkatnya ROS (*Reactive Oxygen Species*) dalam tanaman. ROS memainkan peran ganda, yaitu sebagai pensinyalan seluler dan disisi lain berperan sebagai produk beracun yang terakumulasi di bawah kondisi stres lingkungan (Gupta *et al.*, 2015). Tanaman yang toleran terhadap genangan memiliki aktivitas enzim antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan tanaman yang rentan (Khan dan Khan, 2017).

Untuk perakitan varietas tebu yang tahan terhadap cekaman genangan diperlukan informasi karakter-karakter penting dari genotipe yang diduga mempunyai sifat toleran terhadap cekaman genangan. Beberapa karakter yang terkait dengan ketahanan terhadap cekaman genangan yang sudah banyak dilaporkan adalah tinggi tanaman, jumlah daun, bobot akar, pembentukan jaringan aerenkim, kerapatan stomata dan ekspresi gen antioksidan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik morfologi, fisiologi, dan molekuler beberapa genotipe tebu yang diduga toleran terhadap cekaman genangan.

BAHAN DAN METODE

Karakterisasi morfologi, fisiologi, dan molekuler 6 genotipe tanaman tebu terhadap cekaman genangan dilaksanakan pada bulan Oktober 2021 sampai dengan Januari 2022 di Laboratorium Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Jember. Genotipe tebu yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bululawang, PS 862, Cening, PS 881 dan dua genotipe tebu harapan yaitu M3 dan M4. Media yang digunakan adalah tanah dan kompos dicampur dengan perbandingan 1:1 dalam polibag berukuran 30 cm x 30 cm. Tebu dipelihara sampai berumur 30 hari dan dipindahkan ke media perlakuan.

Genotipe Bululawang, PS 862, Cening, PS 881 merupakan jenis tebu yang umum dibudidayakan di Jawa Timur. Bululawang diketahui mempunyai toleransi rendah terhadap cekaman genangan, sedangkan PS 881 dan PS 862 merupakan genotipe yang toleran terhadap cekaman genangan. Genotipe Cening belum banyak dilaporkan terkait kemampuan toleransi terhadap cekaman genangan. Genotipe tebu harapan M3 dan M4 merupakan genotipe tebu hasil pemuliaan mutasi menggunakan EMS. Genotipe M3 dan M4 belum dilaporkan terkait toleransi terhadap cekaman genangan.

Percobaan ini menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) faktorial. Faktor pertama yaitu genotipe tebu dengan enam genotipe (Bululawang, PS 862, Cening, PS 881, M3, M4). Faktor kedua yaitu periode penggenangan dengan tiga taraf (30 hari, 60 hari, dan 90 hari). Faktor ketiga perlakuan cekaman genangan (kontrol/tanpa cekaman, dan perlakuan cekaman genangan). Tinggi perlakuan cekaman genangan air yaitu 5 cm di atas permukaan tanah. Tinggi genangan dipertahankan dengan cara penambahan air setiap hari hingga mencapai 5 cm di atas permukaan.

Pengamatan karakter morfologi meliputi tinggi tanaman, luas area daun, bobot basah akar dan didukung dengan data pembentukan jaringan aerenkim. Tinggi tanaman diukur menggunakan meteran gulung. Sedangkan pengukuran luas area daun menggunakan perangkat lunak ImageJ. Pengamatan jaringan aerenkim menggunakan metode Leite *et al.*, (2017). Pengamatan karakteristik fisiologi tanaman tebu di bawah cekaman genangan meliputi kandungan klorofil total dan kerapatan stomata. Pengukuran kandungan klorofil total menggunakan metode Ritchie (2006), sedangkan pengamatan kerapatan stomata menggunakan metode pengolesan kutek pada epidermis daun bawah dan hasil cetakan diamati di bawah mikroskop (Taluta *et al.*, 2017).

Analisis ekspresi gen antioksidan dilakukan melalui Polymerase Chain Reaction (PCR) dari cDNA daun tanaman tebu. cDNA diperoleh dari hasil isolasi RNA menggunakan Kit Mini RNA Plant NEXprep™. PCR dilakukan dengan volume reaksi 25 µl yang terdiri dari komponen-komponen yaitu : Green Master Mix, 2X 5 µl, 1 µl (10 µM) dari setiap primer *Forward* (F) dan *Reverse* (R), 1 µl cDNA template, dan 2 µl Nuclease-Free Water. Produk PCR yang diamplifikasi dilanjutkan elektroforesis dalam

agarosa gel 2% yang diwarnai dengan Greenstar, kemudian divisualisasi dengan UV transilluminator. Gen acuan (Tabel 1) diekspresikan pada level yang sama baik pada perlakuan kontrol maupun cekaman genangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Morfologi

Pengamatan karakteristik morfologi tanaman tebu di bawah cekaman genangan meliputi pengamatan tinggi tanaman, luas area daun, bobot segar akar dan didukung data pembentukan jaringan aerenkim. Tinggi tanaman merupakan parameter morfologi yang penting dalam penentuan karakteristik tanaman tebu toleran terhadap cekaman genangan. Toleransi/ketahanan tanaman tebu terhadap cekaman genangan ditentukan melalui persentase penurunan tinggi tanaman dibandingkan dengan kontrol. Penggenangan selama 30 hari menyebabkan penurunan tinggi tanaman secara nyata (Tabel 2). Persentase penurunan tinggi tanaman tertinggi pada 30 hari penggenangan terjadi pada genotipe M3 (49.01%), sedangkan persentase penurunan terendah dibandingkan kontrol yaitu Cening (18.64%). Penurunan tinggi tanaman pada perlakuan cekaman genangan 60 hari rata-rata 20.42% dibandingkan dengan tanaman kontrol. Penggenangan 90 hari menyebabkan penurunan tinggi tanaman lebih rendah dibandingkan dengan penggenangan 30 dan 60 hari. Cening menunjukkan ketahanan terhadap cekaman genangan dengan persentase penurunan tinggi tanaman sebesar 4.32%, sedangkan genotipe M4 mengalami persentase penurunan paling tinggi yaitu 15.04%.

Data luas area daun (Tabel 2) secara konstan menunjukkan Cening merupakan genotipe paling toleran terhadap cekaman genangan. Data menunjukkan bahwa genangan 30 hari, 60 hari, dan 90 hari secara terus menerus Cening merupakan genotipe dengan penurunan terendah dibandingkan kontrol. Penggenangan 90 hari menunjukkan bahwa genotipe Cening mempunyai ketahanan yang tertinggi dengan penurunan persentase dibandingkan kontrol 9.87%. Bululawang merupakan genotipe dengan penurunan tertinggi yaitu 23.91%. Ketahanan tanaman terhadap cekaman genangan salah satunya melalui mekanisme *Quiescence strategy*. Mekanisme *Quiescence strategy* merupakan bentuk pertahanan tanaman dengan menurunkan laju pertumbuhan, sehingga tanaman tetap mampu bertahan dalam kondisi energi yang terbatas (Nishiuchi *et al.*, 2012)

Kondisi tergenang mengakibatkan oksigen di sekitar akar menurun, sehingga pada kondisi kekurangan oksigen yang menurun berdampak pada serapan air dan nutrisi menurun. Respirasi pada kondisi normal (aerobik) mampu menghasilkan 38 ATP/mol gula, sedangkan dalam kondisi tergenang (anaerobik) hanya mampu menghasilkan 2 ATP/mol gula. 2 ATP yang dihasilkan digunakan untuk semua fungsi fisiologis tanaman termasuk dalam pengangkutan nutrisi dan air. Energi yang terbatas mengakibatkan tanaman tidak mampu memasukan air kedalam tanaman, sehingga menyebabkan tanaman layu walaupun air cukup (Zhang *et al.*, 2021).

Salah satu dampak dari keterbatasan energi yaitu menyebabkan penurunan bobot basah akar pada semua genotipe (Tabel 2). Torey *et al.* (2014) menjelaskan bahwa parameter bobot basah akar dapat digunakan sebagai acuan terhadap penentuan kemampuan tanaman dalam penyerapan unsur hara dan air. Genotipe Cening menunjukkan hasil penurunan terendah dibandingkan kontrol sebesar 22.49% dan PS 881 tertinggi dengan penurunan 45.27%. Berdasarkan data bobot basah akar diketahui bahwa pada umur 90 hari tanaman tebu mampu membentuk ketahanan lebih baik terhadap genangan dibandingkan tanaman tebu umur 30 atau 60 hari. Pembentukan ketahanan pada 90 hari ditunjukkan dengan persentase penurunan bobot basah akar pada umur 90 hari lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan penggenangan 30 dan 60 hari. Pembentukan ketahanan dapat dipengaruhi oleh sistem perakaran yang telah mampu beradaptasi dengan kondisi tercekam genangan (Kim *et al.*, 2019).

Mekanisme ketahanan tanaman terhadap cekaman genangan salah satunya melalui jaringan aerenkim di dalam akar yang berfungsi untuk membantu transport hara dan air (Gambar 1). Jaringan aerenkim pada tanaman tebu bersifat konstitutif, sehingga jaringan aerenkim terbentuk di semua genotipe. Jaringan aerenkim tidak hanya terbentuk oleh adanya cekaman, namun kondisi tercekam genangan mengakibatkan pembentukan jaringan aerenkim menjadi lebih tinggi (Leite *et al.*, 2017).

Struktur akar pada kondisi normal lebih rapat dan terjadi kerusakan yang lebih sedikit. Sedangkan pada akar tanaman yang tergenang menyebabkan kerusakan pada struktur akar sehingga membentuk rongga yang disebut dengan jaringan aerenkim. Jaringan aerenkim terbentuk melalui peningkatan biosintesis etilen (C_2H_4) pada saat tanaman dalam kondisi hipoksia atau anoksia. Etilen berfungsi sebagai pemberi

Tabel 1. Primer untuk analisis ekspresi gen antioksidan

Primer	Sekuen (<i>Forward/Reverse; 5' ke 3'</i>)	Length	TM	Prod. length
ScCAT	F: TCCTCCTGTTAAGCTGACC	20	56.85	511
(<i>Sacharum spontaneum</i> Catalase)	R: CTGGGTGGTGAGAGAAGAAA	20	56.77	
ScSOD	F: TGGTGAAGACTGGCATGTG	20	60.25	341
(<i>Saccharum spontaneum</i> superoxide dismutase)	R: GGCGAGCAACCTACAATGGA	20	60.39	

Tabel 2. Penurunan persentase (%) tinggi tanaman, luas area daun, bobot segar akar beberapa genotipe tebu pada berbagai perlakuan cekaman genangan

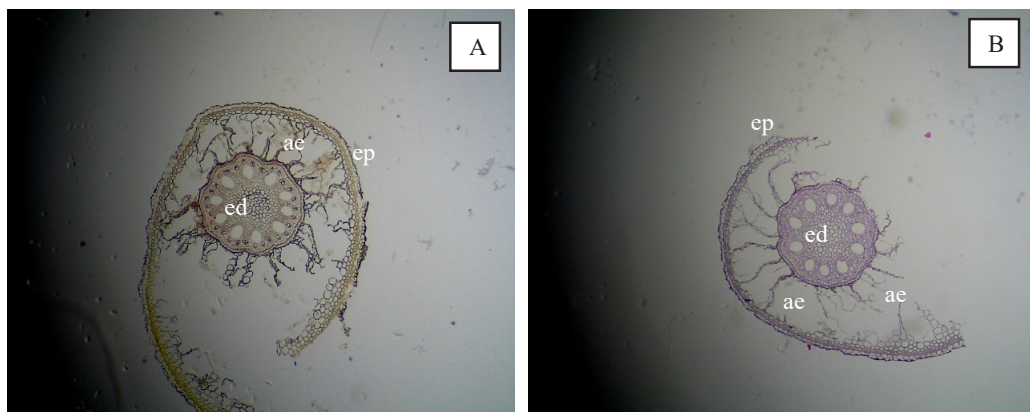
Periode genangan	Genotipe	Tinggi tanaman			Luas area daun			Bobot segar akar		
		Perlakuan			Perlakuan			Perlakuan		
		K (cm)	G (cm)	Penurunan (%)	K (cm ²)	G (cm ²)	Penurunan (%)	K (g)	G (g)	Penurunan (%)
30 hari	G1	99.03	73.60	25.67b	255.16	162.66	36.24d	16.94	12.44	26.37a
	G2	103.93	78.83	24.16ab	316.26	270.67	14.62b	26.16	18.94	27.43a
	G3	104.87	84.60	19.98a	311.07	288.22	7.35a	31.72	24.56	22.48a
	G4	101.73	81.67	19.69a	307.50	254.33	17.28b	26.83	14.66	45.27b
	G5	98.43	49.80	49.34c	265.25	130.40	50.86e	20.25	11.59	40.58b
	G6	94.07	73.10	22.25b	282.36	215.11	23.99c	29.37	22.42	23.52a
60 hari	G1	111.73	89.00	20.48b	262.77	186.20	29.02c	27.67	15.00	45.83c
	G2	110.27	90.80	17.39ab	337.54	292.28	13.36b	29.69	21.17	28.60b
	G3	112.80	97.63	13.26a	389.36	362.99	6.78a	35.67	29.32	17.83a
	G4	108.63	94.21	13.87a	392.63	346.72	11.71ab	31.63	16.89	46.43c
	G5	106.32	64.33	39.60bc	358.58	317.32	11.77ab	28.67	13.56	52.50c
	G6	112.27	93.00	17.58c	405.00	361.96	10.60ab	33.32	24.65	26.06b
90 hari	G1	119.53	110.27	7.63ab	287.82	220.14	23.91b	35.35	20.88	40.96c
	G2	117.80	103.40	12.24bc	350.56	302.52	13.70a	37.37	27.05	27.56b
	G3	134.13	128.33	4.31a	440.30	396.34	9.80a	43.35	35.20	18.83a
	G4	127.97	117.07	8.51abc	417.96	375.44	10.15a	39.31	22.88	41.96c
	G5	118.63	103.90	12.31bc	379.47	334.30	11.93a	36.35	19.44	46.39c
	G6	143.80	124.55	13.69c	455.14	383.11	15.89a	41.00	30.53	25.57ab

Keterangan: K: Kontrol, G: Perlakuan Cekaman Genangan, G1: Bululawang, G2: PS 862, G3: Cening, G4: PS 881, G5: M3, G6: M4, Penurunan (%): Persentase penurunan nilai akibat perlakuan cekaman genangan dibandingkan dengan kontrol

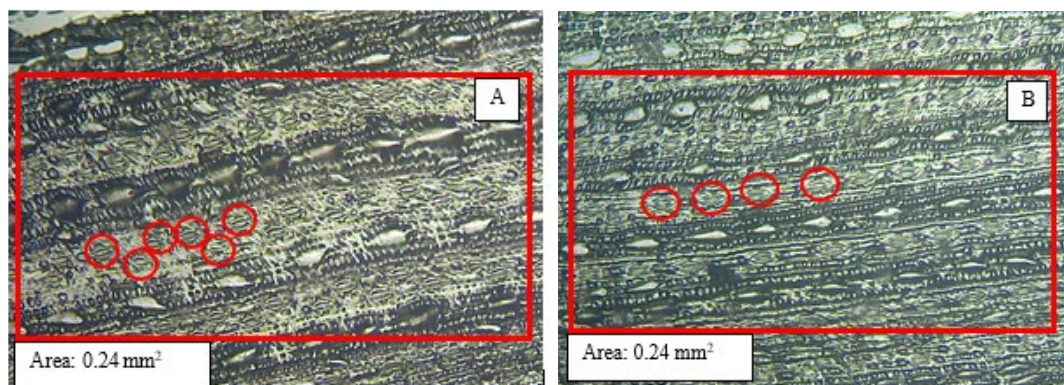
sinyal terhadap sel parenkim sehingga terbentuk rongga dalam akar. Rongga yang terbentuk dari rusaknya jaringan parenkim tersebut yang disebut dengan aerenkim (Leite *et al.*, 2017). Selain itu etilen berfungsi mengatur rasio terbentuknya hormon ABA dan giberelin, sehingga hasil akhirnya terbentuk akar adventif yang juga berfungsi dalam membantu penyerapan unsur hara dalam kondisi tercekam genangan (Zhang *et al.*, 2021).

Karakteristik Fisiologi

Keterbatasan energi ketika tanaman dalam kondisi tercekam genangan menyebabkan pembentukan stomata menurun (Gambar 2). Cening menunjukkan kerapatan stomata tertinggi pada 30 hari cekaman genangan yaitu 86.3/mm² dan persentase penurunan dibandingkan kontrol adalah



Gambar 1. Formasi aerenkim melalui histologi akar tanaman tebu. (A) Akar tebu dalam kondisi normal (B) Akar tanaman tebu dalam kondisi tercekam genangan. (ed: Endodermis; ep: Epidermis; ac: Aerenkim)



Gambar 2. Kerapatan stomata daun tebu tanpa penggenangan dan perlakuan cekaman genangan. (A) Stomata daun tebu dalam kondisi normal (B) Stomata daun tebu dalam kondisi tercekam genangan

21.72%. Keterbatasan kemampuan pembentukan stomata menyebabkan pertukaran gas menurun dan berdampak pada penurunan penyerapan air secara pasif sebagai akibat transpirasi yang terbatas. Tanaman toleran terhadap cekaman genangan mampu meningkatkan pembentukan stomata lebih tinggi dibandingkan tanaman yang rentan (Avivi *et al.*, 2020).

Tanaman tebu dalam kondisi tergenang mengalami penurunan pengangkutan nitrogen sebesar 29.53% (Chandran *et al.*, 2019). Pengangkutan unsur hara penting seperti N yang terhambat selama kondisi tergenang mengakibatkan pembentukan klorofil menjadi rendah, sehingga dalam pemenuhan kebutuhan energi tanaman menggunakan unsur daun yang lebih tua. Pada kondisi ini daun yang tua akan mati dan kadar klorofil total menurun secara signifikan. Kandungan klorofil total tanaman tebu dalam kondisi tergenang air akan berkurang dan efeknya relatif lebih rendah pada varietas toleran (Gomathi *et al.*, 2014). Tanaman yang mempunyai ketahanan terhadap cekaman genangan mampu mempertahankan kandungan klorofil total pada level yang optimal (Rao *et al.*, 2021).

Fotosistem II (PSII) merupakan komponen kompleks fotosintesis yang memiliki peran penting dalam merespon stres lingkungan. Fotosistem II dapat diakses melalui pengamatan kandungan klorofil total (Bamrungrai *et al.*, 2021). Penggenangan pada tanaman tebu memberikan pengaruh terhadap penurunan kandungan klorofil total (Tabel 3). Penurunan klorofil total terjadi pada semua periode penggenangan dan pada semua genotipe. Genotipe M3 mengalami penurunan kandungan klorofil total tertinggi dibandingkan kontrol yaitu sebesar 25.38% dengan kandungan klorofil 1.64 mg g⁻¹ pada perlakuan cekaman genangan 30. Pola penurunan persentase kandungan total klorofil yaitu tertinggi pada 30 hari penggenangan dan turun pada 60 dan 90 hari penggenangan.

Karakteristik Molekuler

Mekanisme ketahanan antioksidan enzimatik merupakan kemampuan tanaman menekan akumulasi *Radical*

Oxygen Species (ROS) yang menyebabkan peroksidasi lipid yang berdampak pada program kematian sel. Contoh antioksidan enzimatik penting dalam penghambatan ROS dalam kondisi tergenang yaitu *Catalase* (CAT), *peroksidase* (POX), dan *Superoxide Dismutase* (SOD). Antioksidan enzimatik SOD berfungsi mengubah Superoxide anion menjadi H₂O₂ dan kemudian oleh CAT diubah kedalam bentuk oksigen dan air (Khan dan Khan, 2017).

Hasil analisis ekspresi gen menggunakan primer ScCAT dan ScSOD menunjukkan bahwa semua genotipe mengekspresikan gen antioksidan pada perlakuan cekaman genangan maupun pada kontrol (Gambar 3). Intensitas ketebalan pita ekspresi gen yang dianalisis menggunakan GelAnalyzer menunjukkan ScCAT dan ScSOD terkespresi lebih tinggi pada tanaman tebu dibawah cekaman genangan. Genotipe Cening dan M4 merupakan genotipe yang mempunyai nilai ekspresi tertinggi pada gen ScCAT dan ScSOD dibandingkan dengan genotipe lain

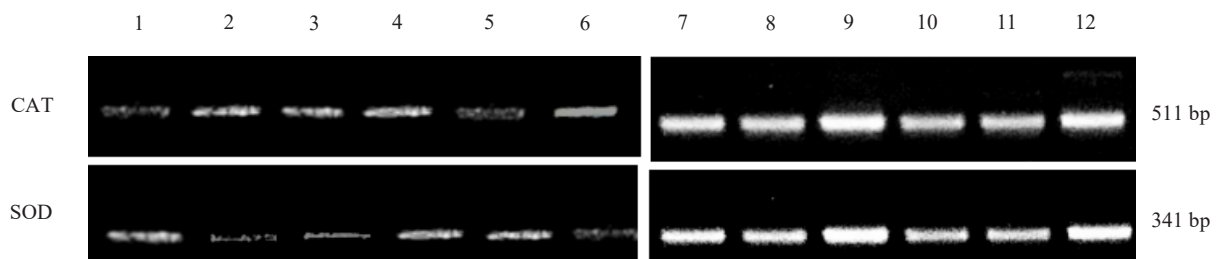
Tanaman yang toleran terhadap genangan memiliki aktivitas enzim antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan tanaman yang peka. Tanaman dengan mekanisme antioksidan akan mampu mereduksi ROS lebih tinggi sehingga kandungan ROS menjadi rendah dan mengurangi dampak buruk dari ROS dalam jika dalam jumlah yang banyak (Mancuso dan Sergey, 2010). Varietas yang tahan akan mengendalikan ROS melalui mekanisme antioksidan secara efisien (Khan dan Khan, 2017).

Cekaman genangan memicu peningkatan ROS pada semua genotipe (Tabel 3). Tanaman yang mempunyai mekanisme ketahanan antioksidan mampu mempertahankan kandungan ROS dalam skala yang lebih rendah dibandingkan dengan tanaman yang tidak mempunyai mekanisme ketahanan antioksidan. Perlakuan cekaman genangan 30 hari menunjukkan genotipe Cening mengalami peningkatan H₂O₂ terendah dibandingkan kontrol dengan 17.54% dan PS 881 tertinggi dengan 51.54%. Cening menunjukkan konsistensi hingga 90 hari penggenangan dengan nilai peningkatan H₂O₂ 20.59%. Nilai peningkatan terbesar yaitu M3 dengan 39.93% dibandingkan dengan kontrol.

Tabel 3. Penurunan persentase (%) klorofil dan H₂O₂ beberapa genotipe tebu pada berbagai perlakuan cekaman genangan

Periode genangan	Genotipe	Klorofil total			H ₂ O ₂		
		Perlakuan			Perlakuan		
		K (mg g ⁻¹)	G (mg g ⁻¹)	Penurunan (%)	K (μmol g ⁻¹)	G (μmol g ⁻¹)	Peningkatan (%)
30 hari	G1	2.14	1.79	16.00	1.06	1.32	19.16a
	G2	2.18	1.74	20.17	0.80	1.25	35.78b
	G3	2.07	1.76	14.92	0.90	1.10	17.53a
	G4	2.03	1.72	15.57	0.68	1.41	51.54c
	G5	2.20	1.64	25.38	1.12	1.65	31.92b
	G6	2.33	1.84	21.26	1.02	1.34	23.54a
60 hari	G1	1.97	1.53	22.21	1.04	1.44	27.39ab
	G2	2.07	1.49	28.02	0.85	1.33	37.65c
	G3	2.04	1.66	18.33	0.94	1.23	24.26a
	G4	1.99	1.54	22.38	0.91	1.60	41.34c
	G5	2.08	1.54	26.09	1.09	1.61	31.17b
	G6	2.14	1.62	24.10	0.96	1.31	26.27ab
90 hari	G1	2.13	1.51	28.63	0.98	1.62	38.08b
	G2	2.27	1.47	34.63	0.92	1.52	39.70b
	G3	2.30	1.60	29.96	1.07	1.37	20.58a
	G4	2.20	1.47	33.10	0.93	1.49	37.43b
	G5	2.05	1.37	32.87	0.84	1.39	39.92b
	G6	2.38	1.50	36.50	0.83	1.29	35.94b

Keterangan: K: Kontrol, G: Perlakuan Cekaman Genangan, G1: Bululawang, G2: PS 862, G3: Cening, G4: PS 881, G5: M3, G6: M4, Penurunan (%): Persentase penurunan nilai akibat perlakuan cekaman genangan dibandingkan dengan kontrol'. Nilai persentase pada data H₂O₂ merupakan penambahan nilai H₂O₂ dibandingkan kontrol



Gambar 3. Hasil analisis PCR diamati menggunakan UV Transilluminator (CAT: catalase, SOD: superoksida dismutase, 1: Bululawang kontrol, 2: PS 862 kontrol, 3: Cening kontrol, 4: PS 862 kontrol, 5: M3 kontrol, 6: M4 kontrol, 7: Bululawang genangan, 8: PS 862 genangan, 9: Cening genangan, 10: PS 862 genangan, 11: M3 genangan, 12: M4 genangan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, mekanisme ketahanan tanaman tebu terhadap cekaman genangan dilakukan melalui mekanisme perubahan morfologi, fisiologi dan molekuler. Genotipe Cening

menunjukkan hasil terbaik sebagai genotipe tebu yang mempunyai ketahanan terhadap cekaman genangan ditinjau dari persentase penurunan bobot segar akar, tinggi tanaman, luas area daun, kandungan klorofil dibandingkan dengan kontrol yang lebih rendah, dan ekspresi gen antioksidan yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada LP2M dan Laboratorium Agroteknologi Universitas Jember atas dukungannya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada PG. Jatiroto yang telah memberi dukungan dalam bentuk bahan tanam yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, F., M.Y. Rafii, M.R. Ismail, A.S. Juraimi, H.A. Rahim, R. Asfaliza, A. Latif. 2013. Waterlogging tolerance of crops: Breeding, mechanism of tolerance, molecular approaches, and future prospects. *Biomed Res. Int.* 1:1-10. Doi:10.1155/2013/963525.
- Avivi, S., S.F.M. Arini, S. Soeparjono, D.P. Restanto, W.I.D. Fanata, K.A. Widjaya. 2020. Tolerance screening of sugarcane varieties toward waterlogging stress. *E3S Web Conf.* 142:1-6. Doi:10.1051/e3sconf/202014203007.
- Avivi, S., A. Syamsunihar, S. Soeparjono, M. Chozin. 2018. Toleransi berbagai varietas tebu terhadap penggenangan pada fase bibit berdasarkan karakter morfologi dan anatomi. *J. Agron. Indonesia* 46:103-110.
- Bamrungrai, J., B. Tubana, V. Tre-Loges, A. Promkhambut, A. Polthanee. 2021. Effects of water stress and auxin application on growth and yield of two sugarcane cultivars under greenhouse conditions. *Agric.* 11: 1-18. Doi:10.3390/agriculture11070613.
- Cabrera, J.S., H.S. Lee. 2019. Flood-prone area assessment using GIS-based multi-criteria analysis: A case study in Davao Oriental, Philippines. *Water (Switzerland)* 11(11). Doi:10.3390/w11112203.
- Chandran, K., Gomathi, R. Nisha, M. Arum, K. 2019. Breeding for waterlogging tolerance in sugarcane. *Sugarcane Res.* 9:29-44.
- Glaz, B., D.R. Morris, S.H. Daroub. 2004. Periodic flooding and water table effects on two sugarcane genotypes. *Agron. J.* 96:832-838. Doi:10.2134/agronj2004.0832.
- Gomathi, R.G., P.N. Rao, A. Chandran, K. Selvi. 2014. Adaptive responses of sugarcane to waterlogging stress: An over view. *Sugar Tech.* 17:325-338. Doi: 10.1007/s12355-014-0319-0.
- Gupta, D.K., J.M. Palma, F.J. Corpas. 2015. *Reactive Oxygen Species and Oxidative Damage in Plants under Stress.* Springer, New York, USA.
- Hartatie, D., I. Harlianingtyas, F. Supriyadi. 2020. Pengaruh curah hujan dan pemupukan terhadap rendemen tebu di pg asempagus situbondo. hal. 47-54. *Prosiding Peran Teaching Factory Di Perguruan Tinggi Vokasi Dalam Mendukung Ketahanan Pangan Pada Era New Normal.* Jember 8-9 Juli 2020.
- Khan, M.I.R., N.A. Khan. 2017. *Reactive Oxygen Species and Antioxidant Systems in Plants: Role and Regulation under Abiotic Stress.* Springer, Singapore.
- Kim, K.H., M.J. Cho, J.M. Kim, T. Lee, J.H. Heo, J. Y. Jeong, J. Lee, J. Moon, S. Kang. 2019. Growth response and developing simple test method for waterlogging stress tolerance in soybean. *J. Crop Sci. Biotechnol.* 22:371-378. Doi:10.1007/s12892-019-0271-0.
- Leite, D.C.C., A. Grandis, E.Q.P. Tavares, A.R. Piovezani, S. Pattathil, U. Avci, A.R. Ni, A. Cambler, A.P. De Souza, M.G. Hahn, M.S. Buckeridge. 2017. Cell wall changes during the formation of aerenchyma in sugarcane roots. *Ann. Bot.* 120:693-708. Doi: 10.1093/aob/mcx050.
- Maghfiroh, K. 2017. Identifikasi kandungan klorofil genus piper (sirih) sebagai kandidat food supplement. *Teknologi Pangan Media Inf. Komun. Ilm. Teknol. Pertan.* 8:93-98. Doi:10.35891/tp.v8i1.540.
- Mancuso, S., S. Sergey. 2010. *Waterlogging Signalling and Tolerance in Plants.* Springer, New York, USA.
- Nishiuchi, S., T. Yamauchi, H. Takahashi, L. Kotula, M. Nakazono. 2012. Mechanisms for coping with submergence and waterlogging in rice. *Rice* 5:1-14. Doi:10.1186/1939-8433-5-2.
- Rao, L., S. Li, X. Cui. 2021. Leaf morphology and chlorophyll fluorescence characteristics of mulberry seedlings under waterlogging stress. *Sci. Rep.* 11: 1-11. Doi:10.1038/s41598-021-92782-z.
- Rini, D.S., B. Budiarto, I. Gunawan, R.H. Agung, R. Munazar. 2020. Mekanisme respon tanaman terhadap cekaman kekeringan. *Ber. Biol.* 19:373-384. Doi: 10.14203/beritabiologi.v19i3b.4025.

- 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.
- 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.
- Taluta, H.E., H.L. Rampe, M.J. Rumondor. 2017. Pengukuran panjang dan lebar pori stomata daun beberapa varietas tanaman kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.). *J. MIPA* 6:1-5. Doi:10.35799/jm.6.2.2017.16835.
- Torey, P.C., S.A. Nio, P. Siahaan, S.M. Mambu. 2014. Karakter morfologi akar sebagai indikator kekurangan air pada padi lokal Superwin. *J. Bios. Logos* 3:1-8. Doi:10.35799/jbl.3.2.2013.4431.
- Zhang, Y., G. Liu, H. Dong, C. Li. 2021. Waterlogging stress in cotton: Damage, adaptability, alleviation strategies, and mechanisms. *Crop J.* 9:257-270. Doi:10.1016/j.cj.2020.08.005.p