



PENGARUH CEKAMAN KEKERINGAN TERHADAP EKSPRESI GEN KETAHANAN OSCATA DAN OSAPX1 PADA PADI TOLERAN KEKERINGAN

Effect of Drought Stress on Resistance Gene *OscATA* and *OsAPX1* Expression in Drought Tolerant Rice

Fariza Oktaviani¹, Irma Novita Sari², Tri Handoyo³, Tri Agus Siswoyo^{1,3}, Mohammad Ubaidillah^{2*}

¹Program Studi Magister Bioteknologi, Universitas Jember Jl. Kalimantan, Kampus Tegal Boto, Jember 68121, Indonesia

²Program Studi Agroteknologi, Universitas Jember Jl. Kalimantan, Kampus Tegal Boto, Jember 68121, Indonesia

³Pusat Unggulan Bioteknologi Tanaman Industri (PUI-PT BioTIn), Universitas Jember Jl. Kalimantan, Kampus Tegal Boto, Jember 68121, Indonesia

*Email: moh.ubaidillah.pasca@unej.ac.id

ABSTRACT

*Rice is widely cultivated in Indonesia, where one of the problems is drought. Rice plant growth can be inhibited due to a lack of water, which could cause oxidative stress. One mechanism for self-defence involves activating antioxidative genes. This study aims to determine the regulatory response of *OscATA* and *OsAPX1* resistance genes in rice under drought stress. The rice varieties used were those already pre-tested, including Siak Raya, Sertani 1, Indragiri, IR64. Drought treatments were 0% (control) and 15% PEG 6000. Results indicated that the interaction of rice variety treatment and drought stress had a highly significant effect on the root length and chlorophyll content but no significant effect on the plant height. Also, the gene expression of *OscATA* and *OsAPX1* increased in rice plants exposed to drought stress. Variety Sertani 1 was recommended due to their high average increase in root length, reduced average plant height and chlorophyll content, as well as increased gene expression in conditions of drought stress.*

Keywords: *drought, gene expression, OsAPX1, OsCATA, rice*

ABSTRAK

Padi banyak dibudidayakan di Indonesia, di mana salah satu permasalahannya adalah kekeringan. Pertumbuhan tanaman padi dapat terhambat akibat kekurangan air, yang dapat menyebabkan terjadinya stres oksidatif. Salah satu mekanisme pertahanan diri adalah mengaktifkan gen antioksidatif. Penelitian ini bertujuan mengetahui respons regulasi gen ketahanan *OscATA* dan *OsAPX1* pada padi yang mengalami cekaman kekeringan. Benih varietas padi yang digunakan sudah diuji pendahuluan sebelumnya, antara lain Siak Raya, Sertani 1, Indragiri, IR64. Perlakuan kekeringan yaitu 0% (kontrol) dan 15% PEG 6000. Hasil penelitian menunjukkan interaksi perlakuan varietas padi dengan cekaman kekeringan signifikan terhadap panjang akar, dan total klorofil namun tidak signifikan terhadap tinggi tanaman. Ekspresi gen *OscATA* dan *OsAPX1* meningkat pada tanaman padi yang mengalami cekaman kekeringan. Tanaman yang direkomendasikan adalah varietas Sertani 1 yang memiliki peningkatan rata-rata panjang akar yang tinggi, penurunan rata-rata tinggi tanaman, dan kandungan klorofil rendah, serta meningkatnya ekspresi gen pada kondisi cekaman kekeringan.

Kata Kunci: ekspresi gen, kekeringan, *OsAPX1*, *OscATA*, padi

PENDAHULUAN

Tanaman padi (*Oryza sativa* L.) merupakan salah satu tanaman yang banyak dibudidayakan di Indonesia dan dikonsumsi sebagai sumber karbohidrat. Varietas padi unggul yang berdaya hasil tinggi, tahan terhadap cekaman, baik biotik maupun abiotik, berperan sangat penting dalam menunjang peningkatan produksi padi untuk mendukung pencapaian swasembada beras. Pertumbuhan dan produksi tanaman padi dipengaruhi oleh faktor lingkungan, salah satunya air. Air yang tidak cukup menyebabkan pertumbuhan tanaman padi tidak sempurna, bahkan bisa menyebabkan tanaman padi mati kekeringan, karena cekaman kekeringan mempengaruhi semua faktor pertumbuhan tanaman padi (Sujinah dan Jamil 2016, Islam et. al. 2018). Secara umum, suhu yang lebih optimal untuk pertumbuhan tanaman padi yaitu berkisar dari 25-30°C. Tanaman padi sangat peka terhadap perubahan suhu udara meskipun kecil. Suhu yang meningkat dapat mempengaruhi produktivitas padi, karena bagian reproduktif yang dinamakan *spikelet* akan menjadi steril (Yamori et al. 2014).

Cekaman kekeringan merupakan salah satu bentuk cekaman abiotik yang dapat menginduksi berbagai respons pada tingkat sel dan jaringan tanaman yang dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman padi (Bartels dan Sunkar 2005). Menurut Obidiegwu et al. (2015), secara keseluruhan cara tanaman merespons cekaman kekeringan dapat diamati dari morfologi, fisiologi, dan molekular tanaman. Respons morfologi tanaman terhadap kekeringan yaitu penurunan tinggi tanaman, penurunan produktivitas tanaman, dan lain sebagainya. Respons fisiologi tanaman terhadap cekaman kekeringan yaitu peningkatan tekanan osmotik, perubahan laju respirasi dan transpirasi, penurunan konduktansi stomata dan lain sebagainya. Respons molekular tanaman terhadap cekaman kekeringan yaitu perubahan dalam ekspresi gen, perubahan dalam sintesis enzimatis, dan lain sebagainya.

Tanaman yang mengalami cekaman kekeringan akan mengaktifkan sistem pertahanan antioksidan dalam sel tumbuhan yaitu komponen enzimatis dan non-enzimatis. Komponen enzimatis antara lain katalase (CAT) dan askorbat peroksidase

(APX). Komponen non-enzimatis antara lain flavonoid, fenolik, glutathion, askorbat, dan karotenoid (Nahar et al. 2018). Gen yang mengkode enzim katalase pada tanaman padi ada 3, antara lain *OsCATA*, *OsCATB* dan *OsCATC*. Sedangkan gen yang mengkode enzim askorbat peroksidase pada tanaman padi ada 8 antara lain *OsAPX1*, *OsAPX2*, *OsAPX3*, *OsAPX4*, *OsAPX5*, *OsAPX6*, *OsAPX7*, dan *OsAPX8*. Menurut Huo et al. (2016) banyak mekanisme yang terjadi dalam respons pertahanan tanaman terhadap cekaman, contohnya regulasi gen ketahanan. Gen-gen diregulasi sehingga diekspresikan pada waktu dan kadar yang tepat untuk mempertahankan sel ataupun mendorong pertumbuhan dan pembelahan sel.

Gen *OsCATA* dan *OsAPX1* termasuk gen penting dalam respons pertahanan ketika tanaman dalam cekaman abiotik, salah satunya kekeringan. Menurut Vighi et al. (2016) *OsCATA* berperan dalam pertahanan, pertumbuhan, dan pengembangan tanaman, dimana tingkat ekspresi gen meningkat pada cekaman abiotik. Lakaew et al. (2021) menyatakan *OsAPX1* responsif terhadap perubahan lingkungan, sehingga menjadi bagian dari respons stres pada tanaman yang bertindak untuk membatasi efek buruk dari *reactive oxygen species* (ROS). Tanaman dibawah kondisi cekaman dapat menginduksi ROS seperti H_2O_2 , sehingga memicu jalur sinyal transduksi pertahanan yang mengaktifkan sistem antioksidan enzimatis yang akan bereaksi dengan H_2O_2 untuk mengkatalisasi pembentukan H_2O dan O_2 sehingga mencegah kerusakan sel pada kondisi cekaman.

Sebanyak 91 plasma nutfah padi sudah dilakukan karakterisasi dan evaluasi ketahanan terhadap cekaman kekeringan berdasarkan *standard evaluation system for rice* (IRRI 2013), dan didapatkan 8 varietas padi yang tahan terhadap cekaman kekeringan. Di antara padi tersebut digunakan dalam penelitian ini seperti Siak Raya, Sertani 1 dan Indragiri. Wei et al. (2015) menyatakan bahwa pada kondisi cekaman kekeringan yang distimulasi *polyethylene glycol* (PEG) 6000, yaitu dengan konsentrasi 15% PEG 6000 dapat menunjukkan pola ekspresi yang berbeda antar gen. Ekspresi gen secara signifikan diinduksi pada hari ke-1 perlakuan, kemudian menurun dengan cepat, lalu akan

memuncak pada hari ke-4. Pengaruh perlakuan kekeringan dengan menggunakan larutan PEG telah diterapkan secara luas untuk menginduksi tekanan air dan bertujuan untuk mengevaluasi toleransi varietas padi terhadap cekaman kekeringan (Lum et al. 2014). Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui respons pertumbuhan dan ekspresi gen *OsCATA* dan *OsAPX1* pada padi toleran kekeringan pada kondisi cekaman kekeringan serta dengan harapan memberi informasi baru tentang karakter pada padi toleran kekeringan terhadap pengaruh perlakuan kekeringan.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Nutrasetikal dan Farmasetikal, UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi, *Center of Development Advanced Science and Technology* (CDAST), Universitas Jember. Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2020 sampai Januari 2021.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi benih varietas padi yang sudah dilakukan uji pendahuluan antara lain Siak Raya, Sertani 1, Indragiri, dan IR64. Bahan-bahan lain yang digunakan yaitu Ribospin™ Plant Kit GeneAll®, ReverseTra Toyobo®, Green Gotaq®, PEG 6000, tanah, cDNA *template*, agarose gel, DNA primer, aquades steril, TAE 1x, greenstar dan lain-lain.

Rancangan percobaan dan analisis data

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktorial dengan 2 faktor dan 3 ulangan. Faktor pertama yaitu varietas padi antara lain Siak Raya, Sertani 1, Indragiri dan IR64. Faktor kedua yaitu perlakuan kekeringan menggunakan PEG 6000 dengan konsentrasi 0% (kontrol) dan 15%. Analisis ragam untuk hasil pengamatan pada variabel tinggi tanaman, panjang akar dan total klorofil dianalisis menggunakan *analysis of variance* (ANOVA). Apabila hasil berbeda nyata maka dilakukan analisa lanjut dengan uji *Duncan's multiple range test* (DMRT) pada taraf kepercayaan 95%.

Persiapan media tanam dan penanaman

Persiapan tanam berupa media tanah yang dimasukkan ke dalam *pot tray*. Ukuran per lubang *pot tray* yang digunakan untuk penanaman benih padi berukuran 2,5 cm x 2,5 cm. *Pot tray* dimasukkan ke dalam bak yang berisi air, kemudian benih yang telah direndam dengan air bersih dan fungisida ditanam dalam *pot tray*.

Perlakuan

Perlakuan dilakukan pada 14 hari setelah tanam selama 4 hari. Benih diberi perlakuan kekeringan menggunakan PEG yang ditambahkan pada larutan nutrisi sesuai konsentrasi perlakuan. Adapun masing-masing perlakuannya adalah sebagai berikut: a) 0% PEG 6000 (kontrol), b) 15% PEG 6000 (Gambar 1).



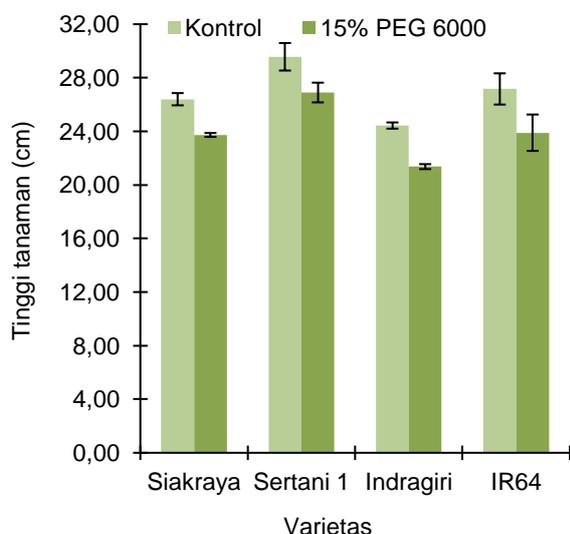
Gambar 1. Perlakuan cekaman kekeringan menggunakan PEG 6000. Tanaman padi umur 14 HST A; Kontrol tanpa cekaman B; Perlakuan cekaman 15% PEG

Pengamatan morfologi

Pengamatan morfologi terdiri dari tinggi tanaman dan panjang akar yang diamati pada hari ke-4 setelah perlakuan. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur atau penggaris. Tinggi tanaman diukur mulai dari leher akar hingga ujung daun tertinggi dan panjang akar diukur mulai dari pangkal akar hingga ujung akar.

Analisis ekspresi gen

Total RNA diekstraksi dari 100 mg daun padi menggunakan Ribospin™ Plant Kit GeneAll®, kemudian melakukan sintesis cDNA sebanyak RNA *template* 1 pg - 1 µg menggunakan ReverseTra Kit Toyobo®, lalu cDNA yang dihasilkan digunakan sebagai *template* PCR sebanyak 100 ng. Tahapan PCR antara lain: satu siklus awal 95°C selama 2 menit dan 30 siklus, 95°C selama 30 detik untuk denaturasi, 51-53°C selama 30 detik untuk annealing, 72°C selama 1 menit untuk extension dan satu siklus akhir 72°C selama 5 menit. Produk PCR yang diamplifikasi lalu dielektroforesis dalam agarose gel 2% yang diwarnai dengan Greenstar kemudian divisualisasi dengan UV-transilluminator. Reaksi PCR dinormalisasi dengan gen *actin* pada tanaman padi yaitu gen *OsACTIN* sebagai acuan untuk semua perbandingan. Ekspresi gen *OsCATA* dan *OsAPX1* diukur dengan menggunakan semi kuantitatif PCR yang dinyatakan dalam ketebalan pita dan menggunakan *GelAnalyzer* yang menunjukkan volume ketebalan pita secara kuantitatif.



Gambar 2. Pengaruh kekeringan terhadap tinggi tanaman padi

Analisis kandungan klorofil

Kandungan klorofil daun dihitung menggunakan sampel daun pada hari ke-4 setelah perlakuan dengan metode spektrofotometri. Menggunakan pelarut aseton 80% dan absorbansi klorofil diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 645 nm dan 663 nm (Shakeel et al. 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari perlakuan kekeringan meliputi tinggi tanaman, panjang akar, total klorofil, dan ekspresi gen *OsCATA* dan *OsAPX1*.

Tinggi tanaman

Pengaruh perlakuan kekeringan dengan konsentrasi 15% PEG 6000 dapat menghambat pertumbuhan tinggi tanaman. Tanaman padi yang memiliki nilai rata-rata tinggi tanaman tertinggi pada perlakuan kontrol dan kekeringan yaitu varietas Sertani 1 dan berbeda nyata dengan varietas IR64, Indragiri dan Siak Raya. Tanaman padi yang memiliki nilai rata-rata tinggi tanaman terendah pada perlakuan kontrol dan kekeringan yaitu varietas Indragiri dan berbeda nyata dengan varietas lainnya. Kekeringan menyebabkan penurunan rata-rata tinggi tanaman pada varietas Siak Raya sebesar 2,67% dibandingkan perlakuan kontrol, pada varietas Sertani 1 sebesar 2,67% dibandingkan perlakuan kontrol, varietas Indragiri dan IR64 masing-masing sebesar 3,06% dan 3,27% dibandingkan perlakuan kontrol (Gambar 2).

Pertumbuhan tinggi tanaman padi dapat dipengaruhi oleh penurunan tekanan turgor pada saat tanaman dibawah kondisi cekaman kekeringan seperti dengan penambahan larutan PEG 6000 pada media penanaman yang dapat menginduksi tekanan air atau menurunkan potensial air. Tanaman yang kekurangan air akan mengurangi pembesaran dan ukuran selnya, sehingga pertumbuhan vegetatif tanaman terhambat maka terjadinya penurunan pada tinggi tanaman (Islam et al. 2018). Proses pembelahan dan pembesaran sel akan terjadi jika sel mengalami turgiditas yang unsur utamanya yaitu ketersediaan air. Jika sel

kekurangan air maka dapat menyebabkan sel rusak sehingga akan menghambat penambahan tinggi tanaman padi (Ahmadikhah dan Marufinia 2016).

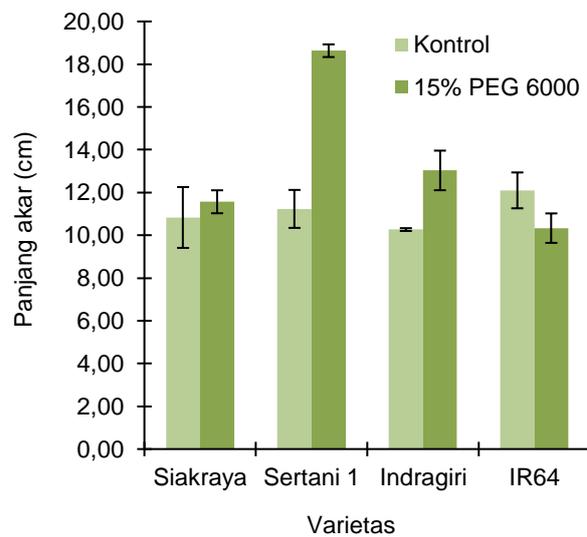
Ketersediaan air yang rendah salah satu penyebab utama menurunnya tinggi tanaman. Rata-rata tinggi tanaman pada perlakuan kontrol memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan rata-rata tinggi tanaman dibawah kondisi kekeringan dengan konsentrasi 15% PEG 6000. Varietas padi yang memiliki nilai rata-rata penurunan tinggi tanaman yang paling besar adalah varietas IR64, yang merupakan varietas padi yang moderat toleran terhadap kekeringan. Selanjutnya penurunan tinggi tanaman yang lebih rendah pada padi toleran kekeringan adalah varietas Siak Raya, Sertani 1 dan Indragiri.

Panjang akar

Pengaruh kekeringan terhadap pertumbuhan panjang akar hasilnya berbeda-beda antar varietas padi. Varietas Sertani 1 memiliki rata-rata panjang akar tertinggi pada perlakuan kekeringan dan berbeda nyata terhadap perlakuan kontrol. Sedangkan padi varietas IR64 memiliki rata-rata panjang akar tertinggi pada perlakuan kontrol dan berbeda nyata dengan varietas Indragiri. Cekaman kekeringan menyebabkan penurunan rata-rata panjang akar pada varietas IR64 sebesar 1,77% dibandingkan perlakuan kontrol dan menyebabkan peningkatan rata-rata panjang akar pada varietas Siak Raya sebesar 0,74%, pada varietas Sertani 1 dan Indragiri masing-masing sebesar 7,40% dan 2,76% dibandingkan dengan perlakuan kontrol, sebagaimana disajikan pada Gambar 3. Padi varietas Sertani 1,

Indragiri, dan Siak Raya memiliki respons positif terhadap cekaman kekeringan berdasarkan meningkatnya rata-rata panjang akar, sebaliknya varietas IR64 memiliki respons negatif terhadap cekaman kekeringan berdasarkan menurunnya rata-rata panjang akar.

Pertambahan panjang akar terjadi pada tanaman padi yang toleran dan rentan terhadap cekaman kekeringan. Namun peningkatan panjang akar lebih pada tanaman padi toleran dan tanaman yang memiliki akar yang dalam dan tebal mampu mengatasi stres akibat kekeringan (Ji et al. 2012). Pada kondisi normal akar tanaman padi akan menambah percabangan akar, sedangkan pada kondisi cekaman kekeringan tanaman padi akan memperpanjang akar (Gambar 4). Menurut Kim et al. (2020), bahwa mekanisme



Gambar 3. Pengaruh kekeringan terhadap panjang akar padi



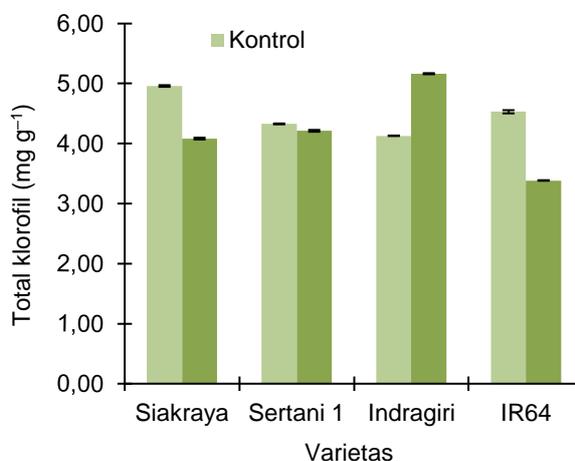
Gambar 4. Tanaman padi pada hari ke-4 setelah perlakuan. (A) Kontrol, (B) Perlakuan kekeringan

toleransi tumbuhan terhadap kekeringan dengan cara melakukan penyesuaian osmotik dan menambah pertumbuhan akar yang bertujuan untuk memperluas bidang serap akar terhadap air. Tanaman padi yang toleran terhadap kekeringan akan berusaha untuk memperpanjang akar agar mendapatkan air dan unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhannya seperti padi varietas Siak Raya, Sertani 1 dan Indragiri (Khan et al. 2016).

Total klorofil

Pengaruh kekeringan dengan konsentrasi 15% PEG 6000 menunjukkan hasil yang berbeda terhadap beberapa varietas padi. Varietas Indragiri memiliki kandungan total klorofil tertinggi pada perlakuan kekeringan dan berbeda nyata terhadap varietas lainnya. Varietas IR64 memiliki kandungan total klorofil terendah pada perlakuan kekeringan dan berbeda nyata terhadap varietas lainnya. Cekaman kekeringan menyebabkan peningkatan kandungan total klorofil pada varietas Indragiri sebesar 1,03% dibandingkan perlakuan kontrol, dan menyebabkan penurunan kandungan total klorofil pada varietas Siak Raya sebesar 0,88%, pada varietas Sertani 1 dan IR64 masing-masing sebesar 0,12% dan 1,14% dibandingkan perlakuan kontrol sebagaimana disajikan pada Gambar 5.

Cekaman kekeringan dapat menyebabkan perbedaan respons fisiologi dan biokimia pada tanaman padi. Ketersediaan air yang cukup mampu mendukung proses fisiologi, dimana



Gambar 5. Pengaruh kekeringan terhadap total klorofil

pembentukan klorofil akan lebih optimal. Stimulasi sintesis klorofil pada daun muda disebabkan oleh aktivasi enzim pada biosintesis yang bergantung pada cahaya, faktor iklim, dan perubahan kadar klorofil pada varietas tanaman yang berbeda dari spesies yang sama dapat menunjukkan kepekaan yang berbeda terhadap kekeringan (Sperdouli dan Mellidou 2021), sesuai dengan hasil penelitian ini, seperti yang tampak pada Gambar 5. Tanaman yang toleran cekaman kekeringan akan menunjukkan nilai klorofil yang lebih tinggi dibawah cekaman kekeringan dibandingkan pada kondisi normal. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh pada studi ini bahwa varietas Indragiri memiliki respons positif terhadap cekaman kekeringan berdasarkan peningkatan kandungan total klorofil pada kondisi cekaman kekeringan (Lakra et al. 2015).

Ekspresi gen *OsCATA* dan *OsAPX1*

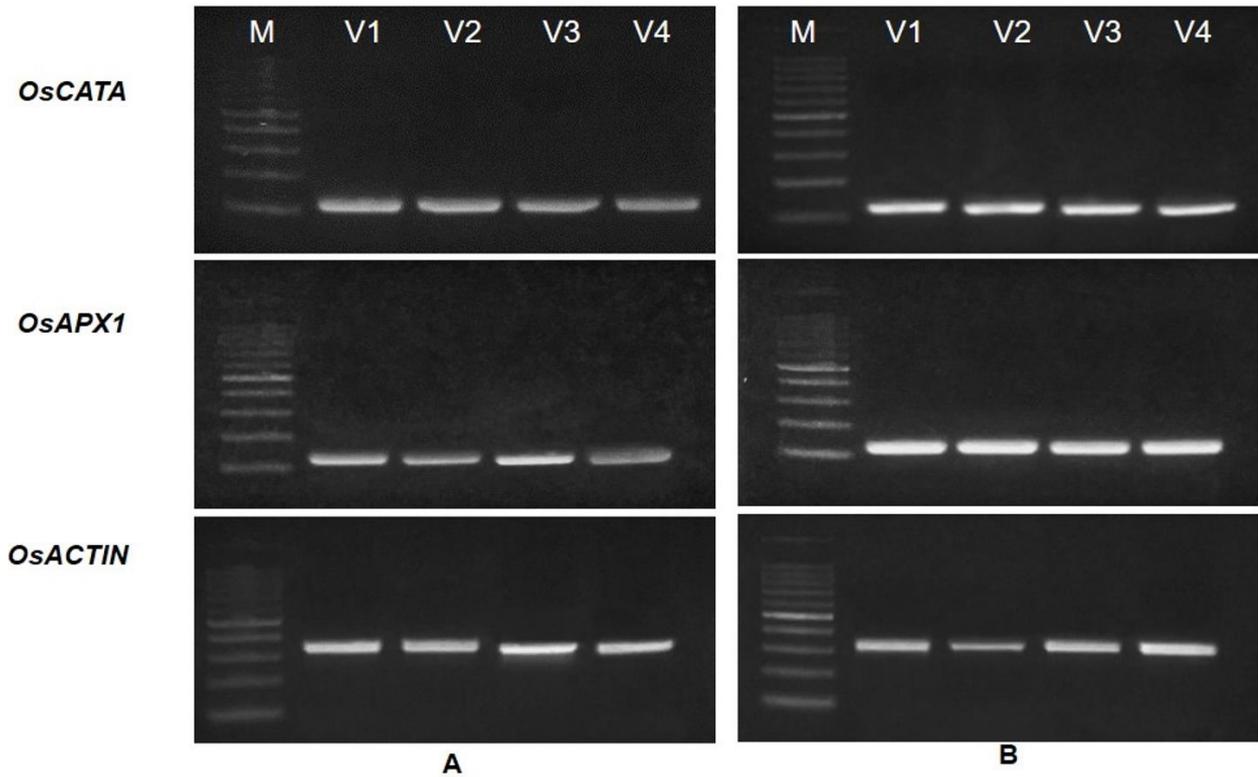
Analisis ekspresi gen menggunakan gen *OsCATA* dan *OsAPX1* pada tanaman padi dalam keadaan normal menunjukkan hasil dua gen ini terekspresi namun pada kondisi cekaman kekeringan menunjukkan hasil ekspresi lebih tinggi (Gambar 6) dan menggunakan gen *housekeeping OsACTIN*. Ketebalan pita pada perlakuan 15% PEG 6000 menunjukkan bahwa gen *OsAPX1* terekspresi lebih tinggi dibandingkan dengan gen *OsCATA*. Ukuran fragmen DNA dari gen *OsCATA* dan *OsAPX1* pada perlakuan kontrol maupun 15% PEG 6000 yaitu antara 100-200 bp. Ukuran fragmen DNA dari gen *OsACTIN* pada perlakuan kontrol dan 15% PEG 6000 yaitu antara 300-400 bp.

Volume ketebalan pita ekspresi gen *OsCATA* dan *OsAPX1* secara kuantitatif yang dianalisis menggunakan *GelAnalyzer* menunjukkan *OsCATA* dan *OsAPX1* terekspresi lebih tinggi pada tanaman padi dibawah cekaman kekeringan dibandingkan dalam keadaan normal. Gen *OsAPX1* terekspresi lebih tinggi dibandingkan dengan *OsCATA* pada perlakuan 15% PEG 6000. Varietas Sertani 1 merupakan varietas yang memiliki nilai ekspresi gen paling tinggi pada gen *OsCATA* dan *OsAPX1*, sebaliknya varietas IR64 merupakan varietas yang memiliki nilai ekspresi gen paling rendah pada gen *OsCATA* dan *OsAPX1* dibawah kondisi cekaman kekeringan sebagaimana yang disajikan pada Gambar 7. Analisis

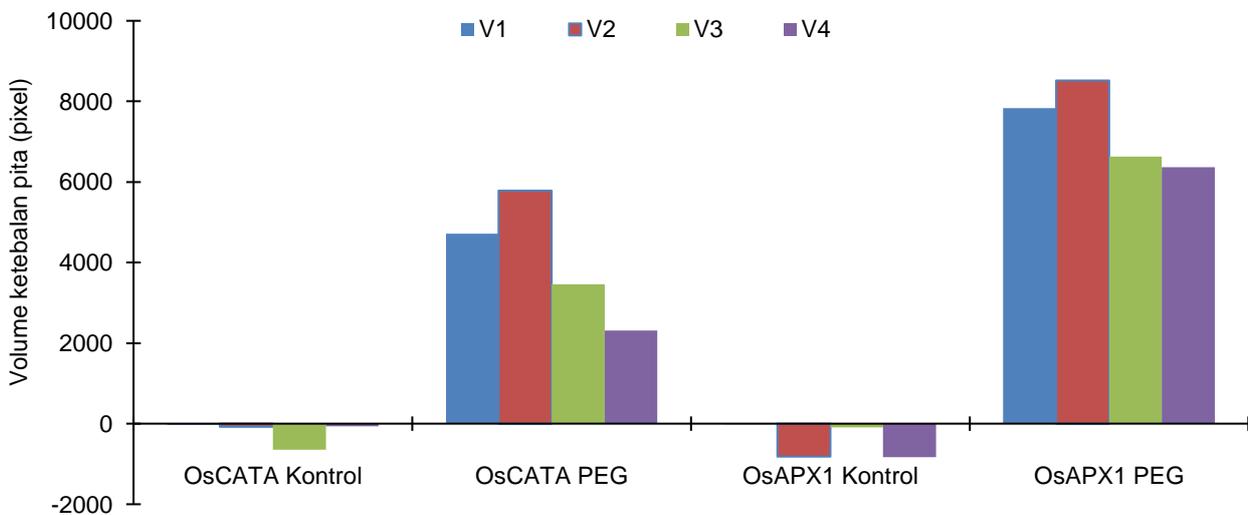
ekspresi gen pada hari ke-4 perlakuan cekaman kekeringan dengan konsentrasi 15% PEG 6000 mampu meningkatkan ekspresi gen *OsCATA* dan *OsAPX1*.

Cekaman kekeringan dapat menyebabkan penutupan stomata yang akan menghambat proses pertukaran CO₂ dan O₂, sehingga mendukung pembentukan *reactive oxygen species* (ROS). Tanaman akan mengaktifkan sistem antioksidan enzimatik

untuk mengurangi produksi ROS yaitu CAT (katalase) dan APX (askorbat peroksidase). CAT bereaksi dengan H₂O₂ untuk mengkatalisasi pembentukan air dan oksigen serta APX mengurai H₂O₂ menjadi air dengan melibatkan GR, MDHAR, DHAR dalam siklus ASH/GSH (Das dan Roychoudhury 2014). CAT dan APX merupakan enzim antioksidan utama dalam detoksifikasi H₂O₂. CAT dan APX memiliki peran seluler yang berbeda



Gambar 6. Hasil elektroforesis ekspresi gen *OsCATA* dan *OsAPX1*. (A) 0% PEG 6000 (kontrol), (B) 15% PEG 6000, (M) Marker, (V1) Siak Raya, (V2) Sertani 1, (V3) Indragiri, (V4) IR64



Gambar 7. Analisis volume ketebalan pita ekspresi gen *OsCATA* dan *OsAPX1*. (V1) Siak Raya, (V2) Sertani 1, (V3) Indragiri, (V4) IR64. Data diperoleh setelah dibandingkan dengan ekspresi gen *housekeeping* *OsActin*

dalam mendetoksifikasi H_2O_2 , yang mana CAT tidak membutuhkan reduktor, sedangkan APX menggunakan askorbat sebagai reduktor (Nahar et al. 2018). Tanaman untuk beradaptasi pada cekaman kekeringan maka sejumlah besar gen akan diatur dan gen yang secara khusus diekspresikan dalam varietas toleran kekeringan termasuk gen yang terlibat dalam *signaling pathway* (Nahar et al. 2016).

Gen *OsCATA* dan *OsAPX1* merupakan gen yang berperan dalam mengkode enzim antioksidan, yaitu katalase dan askorbat peroksidase. Gen akan terekspresi lebih tinggi jika tanaman padi mengalami cekaman abiotik, salah satunya kekeringan. Ekspresi gen *OsCATA* dan *OsAPX1* akan meningkat pada kondisi cekaman abiotik dibandingkan pada kondisi normal (Gambar 6 dan 7). Ekspresi gen *OsCATA* dan *OsAPX1* pada tanaman padi yang mengalami cekaman abiotik menunjukkan tingkat ekspresi yang lebih tinggi dibandingkan dengan keadaan normal (Kim et al. 2018), ekspresi gen *OsCATA* dan *OsAPX1* pada tanaman padi yang mengalami cekaman abiotik akan terekspresi lebih tinggi (Rossatto et al. 2017).

Ekspresi gen *OsCATA* tanaman padi dibawah kondisi cekaman abiotik lebih tinggi dibandingkan dalam keadaan normal, pada penelitian lain juga menunjukkan korelasi yang sama (Sen et al. 2021) dan ekspresi *OsCATA* berhubungan positif dengan aktivitas enzim katalase. Katalase memainkan peran penting dalam pengaturan ROS dalam sel, dimana katalase bereaksi dengan H_2O_2 untuk mengkatalisasi pembentukan air dan oksigen. Ketiga gen katalase pada padi yaitu *OsCATA*, *OsCATB*, dan *OsCATC* menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan dalam sifat enzimatis dan memiliki lokalisasi subseluler yang sama yaitu di peroksisom, namun menunjukkan pola ekspresi yang berbeda di tanaman padi. *OsCATA* lebih diekspresikan pada daun dan biji muda, *OsCATB* sebagian besar diekspresikan dalam biji dan *OsCATC* lebih diekspresikan dalam daun tua (Vighi et al. 2016).

OsAPX1 sebagai gen yang berperan memberikan sinyal di dalam jaringan tanaman dengan mengkode enzim askorbat peroksidase (APX). APX merupakan enzim yang diekspresikan secara berbeda dalam kekeringan yang berfungsi dalam jalur

metabolisme serta mekanisme pertahanan antioksidan yang berperan penting dalam menghadapi cekaman kekeringan pada padi (Nahar et al. 2016). *OsAPX1* responsif terhadap perubahan lingkungan dari hasil yang didapatkan *OsAPX1* terekspresi lebih tinggi dibandingkan *OsCATA* hal ini sesuai dengan pernyataan Agrawal et al. (2003) sehingga *OsAPX1* menjadi bagian respons stres pada tanaman yang bertindak untuk membatasi efek buruk dari H_2O_2 . APX didistribusikan secara luas dan memiliki afinitas yang lebih baik untuk H_2O_2 daripada CAT, maka APX merupakan enzim yang lebih efisien dalam mendetoksifikasi H_2O_2 pada saat stres (Das dan Roychoudhury 2014).

Data tinggi tanaman, panjang akar dan total klorofil menginformasikan bahwa pada padi lokal yang memiliki respons ketahanan cekaman kekeringan, seperti varietas Siak Raya, Sertani 1 dan Indragiri, juga memiliki karakter ekspresi gen antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan padi moderat kekeringan, yaitu varietas IR64, dibawah kondisi cekaman kekeringan.

KESIMPULAN

Interaksi perlakuan varietas padi dengan cekaman kekeringan signifikan terhadap panjang akar, dan total klorofil namun tidak signifikan terhadap tinggi tanaman. Ekspresi gen *OsCATA* dan *OsAPX1* meningkat pada tanaman padi yang mengalami cekaman kekeringan, serta tanaman yang direkomendasikan adalah varietas Sertani 1 yang memiliki peningkatan rata-rata panjang akar yang tinggi, penurunan rata-rata tinggi tanaman dan kandungan klorofil yang rendah, serta meningkatnya ekspresi gen pada kondisi cekaman kekeringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal GK, Jwa NS, Iwashashi H, Rakwal R (2003) Importance of ascorbate peroxidases *OsAPX1* and *OsAPX2* in the rice pathogen response pathways and growth and reproduction revealed by their transcriptional profiling. *Gene* 322: 93–103. doi: 10.1016/j.gene.2003.08.017
- Ahmadihah A, Marufinia A (2016) Effect of reduced plant height on drought tolerance in rice. *3 Biotech* 6: 221 (2016).

- doi: 10.1007/s13205-016-0542-3
- Bartels D, Sunkar R (2005) Drought and salt tolerance in plants. *Crit Rev Plant Sci* 24: 23–58. doi: 10.1080/07352680590910410
- Das K, Roychoudhury A. (2014) Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Front Environ Sci* 2: 53. doi: 10.3389/fenvs.2014.00053
- Huo Y, Wang M, Wei Y, Xia Z (2016) Overexpression of the maize psbA gene enhances drought tolerance through regulating antioxidant system, photosynthetic capability, and stress defense gene expression in tobacco. *Front Plant Sci* 6: 1223. doi: 10.3389/fpls.2015.01223
- IRRI (2013) Standard evaluation system (SES) for Rice (5th Edition). International Rice Research Institute, Metro Manila
- Islam MM, Kayesh E, Zaman E, Urmi TA, Haque MM (2018) Evaluation of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes for drought tolerance at germination and early seedling stage. *Agriculturists* 16: 44–54. doi: 10.3329/agric.v16i1.37533
- Ji K, Wang Y, Sun W, Lou Q, Mei H, Shen S, Chen H (2012) Drought-responsive mechanisms in rice genotypes with contrasting drought tolerance during reproductive stage. *J Plant Physiol* 169: 336–344. doi: 10.1016/j.jplph.2011.10.010
- Khan MA, Gemenet DC, Villordon A (2016) Root system architecture and abiotic stress tolerance: Current knowledge in root and tuber crops. *Front Plant Sci* 7: 1584. doi: 10.3389/fpls.2016.01584
- Kim Y, Chung YS, Lee E, Tripathi P, Heo S (2020) Root response to drought stress in rice (*Oryza sativa* L.). *Int J Mol Sci* 21: 1513. doi: 10.3390/ijms21041513
- Kim Y, Mun BG, Khan AL, Waqas M, Kim HH, Shahzad R, Imran M, Yun BW, Lee IJ (2018) Regulation of reactive oxygen and nitrogen species by salicylic acid in rice plants under salinity stress conditions. *PLoS One* 13: e0192650. doi: 10.1371/journal.pone.0192650
- Lakaew K, Akeprathumchai S, Thiravetyan P (2021) Foliar spraying of calcium acetate alleviates yield loss in rice (*Oryza sativa* L.) by induced anti-oxidative defence system under ozone and heat stresses. *Ann Appl Biol* 178: 414–426. doi: 10.1111/aab.12653
- Lakra N, Nutan KK, Das P, Anwar K, Singla-Pareek SL, Pareek A (2015) A nuclear-localized histone-gene binding protein from rice (OsHBP1b) functions in salinity and drought stress tolerance by maintaining chlorophyll content and improving the antioxidant machinery. *J Plant Physiol* 176: 36–46. doi: 10.1016/j.jplph.2014.11.005
- Lum MS, Hanafi MM, Rafii YM, Akmar ASN (2014) Effect of drought stress on growth, proline and antioxidant enzyme activities of upland rice. *J Anim Plant Sci* 24: 1487–1493.
- Nahar S, Kalita J, Sahoo L, Tanti B (2016) Morphophysiological and molecular effects of drought stress in rice. *Ann Plant Sci* 5: 1409–1416. doi: 10.21746/aps.2016.09.001
- Nahar S, Vemireddy LR, Sahoo L, Tanti B (2018) Antioxidant protection mechanisms reveal significant response in drought-induced oxidative stress in some traditional rice of Assam, India. *Rice Sci* 25: 185–196. doi: 10.1016/j.rsci.2018.06.002
- Obidiegwu JE, Bryan GJ, Jones HG, Prashar A (2015) Coping with drought: Stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Front Plant Sci* 6: 542. doi: 10.3389/fpls.2015.00542
- Rossatto T, do Amaral MN, Benitez LC, Vighi IL, Braga EJB, de Magalhaes Junior A, Maia MAC, da Silva Pinto L (2017) Gene expression and activity of antioxidant enzymes in rice plants, cv. BRS AG, under saline stress. *Physiol Mol Biol Plants* 23: 865–875. doi: 10.1007/s12298-017-0467-2
- Sen A, Challabathula D, Puthur JT (2021) UV-B priming of *Oryza sativa* seeds augments the innate tolerance potential in a tolerant variety more effectively toward NaCl and PEG stressors. *J Plant Growth Regul* 40: 1166–1180. doi: 10.1007/s00344-020-10177-2
- Shakeel M, Khan SN, Saleem Y, Burgess PJ, Shafiq S (2019) Colour, water and chlorophyll loss in harvested broccoli (*Brassica oleracea* L. Italica) under ambient conditions in Pakistan. 246: 858–861. doi:

- 10.1016/j.scienta.2018.11.041
- Sperdoui I, Mellidou I, Moustakas M (2021) Harnessing chlorophyll fluorescence for phenotyping analysis of wild and cultivated tomato for high photochemical efficiency under water deficit for climate change resilience. *Climate* 9: 154. doi: 10.3390/cli9110154
- Sujinah, Jamil A (2016) Mekanisme respon tanaman padi terhadap cekaman kekeringan dan varietas toleran. *Iptek Tanaman Pangan* 11: 1–8
- Vighi IL, Benitez LC, do Amaral MN, Auler PA, Moraes GP, Rodrigues GS, da Maia LC, Pinto LS, Braga EJB (2016) Changes in gene expression and catalase activity in *Oryza sativa* L. under abiotic stress. *Genet Mol Res* 15: gmr15048977. doi: 10.4238/gmr15048977
- Wei L, Wang L, Yang Y, Wang P, Guo T, Kang G (2015) Abscisic acid enhances tolerance of wheat seedlings to drought and regulates transcript levels of genes encoding ascorbate-glutathione biosynthesis. *Front Plant Sci* 6: 458. doi: 10.3389/fpls.2015.00458
- Yamori W, Zhang G, Takagaki M, Maruo T (2014) Feasibility study of rice growth in plant factories. *J Rice Res* 2: 119. doi: 10.4172/jrr.1000119