

Potensi Abu Sekam Padi untuk Meningkatkan Ketahanan Oksidatif Non-enzimatik dan Produksi Padi Merah pada Cekaman Kekeringan

Possibility of Rice Husk Ash to Enhance Non-enzymatic Oxidative Strength and Production of Red Rice under Drought Stress

Diah Rachmawati^{1*}, Ni Luh Gde Mona Monika², dan Ulfatul Masrurroh²

¹Laboratorium Fisiologi Tumbuhan, Fakultas Biologi
Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281, Indonesia
²Program Pascasarjana, Program Studi Biologi, Fakultas Biologi
Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281, Indonesia

Diterima 21 Desember 2016/Disetujui 12 September 2017

ABSTRACT

Drought inhibits several physiological process and induces oxidative stress due to the enhanced production of reactive oxygen species (ROS) mainly in photosynthetic apparatus. Silicon (Si) is known to increase tolerance of rice against drought stress. However, long period of intensive crop cultivation depleted the available soil Si by approximately 11-20%. Rice husk ash (RHA) is potential Si source. The objective of this research was to analyze the potency of RHA through pot experiment to observe: 1) internal water balanced; 2) integrity of cell membrane and antioxidant content; and 3) production of tolerant cultivar 'Segreng' and sensitive one 'Cempo merah'. Application of RHA was at level of 0, 4, and 8 tons ha⁻¹. Drought stress was imposed by with holding water until soil water content reached 50% of field capacity (moderate stress) and 25% of field capacity (severe stress). Application of RHA significantly increased leaf relative water content and membrane stability index of rice 'Segreng' and 'Cempo merah'. Tolerant cultivar 'Segreng' had better response than 'Cempo merah' as shown by greater leaf relative water content under moderate and severe stress. RHA application at level of 8 tons ha⁻¹ increased index of membrane stability and level of antioxidant (A_{red} and α -tocopherol) which determine production of both rice 'Segreng' and 'Cempo merah' during drought.

Keywords: antioxidant, field capacity, membrane stability, segreng cultivar, α -tocopherol

ABSTRAK

*Kekeringan menghambat berbagai proses fisiologis dan menginduksi cekaman oksidatif akibat peningkatan produksi reactive oxygen species (ROS) pada organel fotosintetik. Unsur silikon (Si) diketahui dapat meningkatkan toleransi padi (*Oryza sativa* L.) terhadap cekaman kekeringan. Pada lahan pertanian intensif terjadi penurunan kadar Si hingga 11-20% sehingga diperlukan pemupukan Si. Abu sekam padi (ASP) merupakan sumber Si potensial. Penelitian bertujuan menganalisis potensi abu sekam padi sebagai sumber Si terhadap: (1) keseimbangan air internal; (2) status cekaman oksidatif dan kadar antioksidan; serta (3) produksi padi kultivar toleran Segreng dan sensitif Cempo merah selama kekeringan. Penelitian dilaksanakan di rumah kaca Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian UGM pada Bulan Februari-Juni 2016. Cekaman kekeringan diberikan dengan mempertahankan ketersediaan air hingga 50% kapasitas lapang (kekeringan moderat) dan 25% kapasitas lapang (kekeringan parah) dengan variasi dosis ASP sebesar 0, 4, dan 8 ton ha⁻¹. Pemberian Abu sekam padi secara signifikan meningkatkan kandungan air relatif dan indeks stabilitas membran daun 'Segreng' dan 'Cempo merah'. Ketahanan padi 'Segreng' lebih baik daripada 'Cempo merah' ditunjukkan oleh kandungan air relatif daun yang lebih tinggi selama kekeringan moderat dan parah. Pemberian ASP 8 ton ha⁻¹ meningkatkan indeks stabilitas membran dan kadar antioksidan (A_{red} dan α -tokoferol) yang berkorelasi positif terhadap produksi padi 'Segreng' dan 'Cempo merah' selama kekeringan.*

Kata kunci: antioksidan, kapasitas lapang, kultivar segreng, stabilitas membran, α -tokoferol

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: drachmawati@ugm.ac.id

PENDAHULUAN

Keterbatasan suplai air secara signifikan mempengaruhi produktivitas padi (Barnabas *et al.*, 2008). Hasil panen mengalami penurunan hingga 81% selama kekeringan dan dipengaruhi waktu, durasi, dan tingkat cekaman kekeringan (Zain *et al.*, 2014). Kekeringan menyebabkan penurunan konduktansi stomata (Ji *et al.*, 2012), laju fotosintesis (Yang *et al.*, 2014) dan efisiensi penggunaan air (Cha-um *et al.*, 2010).

Kekeringan menginduksi cekaman oksidatif akibat peningkatan produksi *reactive oxygen species (ROS)* khususnya pada organel fotosintetik (Murshe *et al.*, 2013). Molekul *ROS* secara langsung dapat mengoksidasi membran lipid sehingga permeabilitas membran meningkat dan terjadi *ion-leakage* (Almeselmani *et al.*, 2011). Hal ini menyebabkan penurunan indeks stabilitas membran (Liu *et al.*, 2002; Kumar *et al.*, 2014). Respons tumbuhan dalam meminimalisir dampak negatif *ROS* melalui sistem pertahanan oksidatif baik secara enzimatis maupun non-enzimatis. Peningkatan asam askorbat dan α -tokoferol merupakan indikator respons tanaman terhadap cekaman berperan penting menjaga stabilitas membran organel fotosintetik dari oksidasi *ROS* selama kondisi cekaman (Szarka *et al.*, 2012). Asam askorbat menetralkan H_2O_2 sehingga tidak mengoksidasi komponen membran lipid, sedangkan aktivitas antioksidatif α -tokoferol berperan untuk mereduksi *lipid peroxyl radical*, sehingga mencegah peroksidasi lipid tak jenuh penyusun membran (Li *et al.*, 2008).

Penambahan unsur silikon (Si) meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan dengan menjaga keseimbangan air internal melalui pembentukan barier fisik, mekanik, atau terlibat dalam regulasi fisiologis. Unsur Si juga meningkatkan aktivitas pertahanan oksidatif selama kekeringan (Gunes *et al.*, 2008). Meskipun kandungan Si tanah melimpah, ketersediaannya relatif rendah karena berada dalam bentuk kristal yang terikat dengan partikel tanah (Meena *et al.*, 2014). Darmawan *et al.* (2007) melaporkan bahwa ketersediaan unsur Si di lahan pertanian Indonesia menurun sekitar 11-20%. Penurunan kadar Si tanah ditemukan di daerah pertanian intensif yang memanen padi 2-3 kali per tahun (Husnain *et al.*, 2008).

Abu sekam padi (ASP) merupakan sumber Si potensial. Kelarutan ASP relatif tinggi hingga mencapai 40%-60% dalam menyediakan bentuk Si yang dapat diserap tanaman (Tateda, 2016). Pemberian ASP dari limbah pembakaran batu bata dilaporkan meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas padi dalam kondisi lingkungan optimal (Suwanto, 2015). Akan tetapi, belum pernah dilaporkan mengenai potensi ASP sebagai sumber Si terhadap peningkatan toleransi kultivar padi merah lokal selama cekaman kekeringan. Oleh karena itu, dilakukan analisis potensi ASP sebagai sumber Si terhadap ketahanan oksidatif non-enzimatis dan produksi padi kultivar toleran 'Segreng' dan sensitif 'Cempo merah' selama cekaman kekeringan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di rumah kaca Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian UGM pada bulan Februari sampai dengan Juni 2016. Bahan penelitian meliputi benih padi beras merah 'Segreng' (kultivar toleran terhadap kekeringan) dari Gunung Kidul dan 'Cempo merah' (kultivar sensitif terhadap kekeringan) dari BPTP Yogyakarta; Abu sekam padi (ASP) sebagai sumber silikon (Si) mengandung SiO_2 sebesar 36.28%; Tanah bertipe geluh pasir (*sandy loam*) dari Pusat Inovasi dan AgroTeknologi (PIAT) UGM.

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga faktor yaitu kultivar padi, dosis abu sekam padi dan cekaman kekeringan. Kultivar padi yang digunakan yaitu 'Segreng' dan 'Cempo merah'. Perlakuan abu sekam padi yaitu 0, 4, dan 8 ton ha^{-1} . Perlakuan abu sekam padi diberikan pada saat sebelum tanam, dicampurkan dengan tanah dan pupuk kandang (10 ton ha^{-1}). Kondisi kekeringan dengan kapasitas lapang (KL) yang berbeda terdiri atas 3 level yaitu 100%, 50% dan 25% kapasitas lapang. Masing-masing kombinasi perlakuan dengan 3 ulangan dan pada tiap polybag perlakuan ditanam 1 tanaman.

Benih disemai selama 10 hari. Kecambah dengan vigor terbaik dipindahkan ke polybag berisi 7 kg tanah. Penyiraman untuk mempertahankan ketersediaan air 100% kapasitas lapang dilakukan sampai bibit berumur 7 HST (hari setelah tanam). Selanjutnya, penyiraman dikurangi hingga ketersediaan air tanah mencapai 50% KL (kekeringan moderat) dan 25% KL (kekeringan parah). Perlakuan kekeringan dihentikan ketika 50% tanaman kontrol telah melewati akhir fase reproduktif.

Variabel keseimbangan status air internal, status cekaman oksidatif dan kadar antioksidan (Asam askorbat tereduksi /AAred dan α -tokoferol) diamati pada akhir fase vegetatif dan produktivitas tanaman diamati pada saat panen. Keseimbangan status air internal ditentukan dengan pengukuran kandungan air relatif daun (Hasthanasombut *et al.*, 2010). Pengamatan status cekaman kekeringan pada daun dilakukan dengan mengukur indeks stabilitas membran melalui pengukuran *ion-leakage* dengan *electric conductivity meter* (Guo *et al.*, 2007). Pengukuran kadar AAred mengikuti metode Ribeiro (2012) dan kadar α -tokoferol mengikuti metode Backer *et al.* (1980). Karakter produksi yang diukur meliputi jumlah anakan produktif, waktu pembungaan, persentase biji bernas per malai, bobot seratus biji, dan bobot gabah total.

Data dianalisis dengan analisis sidik ragam, dilanjutkan dengan uji DMRT dan korelasi antar parameter diukur dengan uji *Pearson correlation*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keseimbangan Air Internal Padi 'Segreng' dan 'Cempo merah'

Kandungan air relatif (KAR) menunjukkan tingkat hidrasi daun yang dapat digunakan sebagai indikator tingkat

cekaman yang dialami oleh tanaman saat dikondisikan pada kapasitas lapang (KL) yang berbeda. Perlakuan kekeringan berpengaruh nyata terhadap KAR daun padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’. Nilai KAR daun padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ pada kondisi 100% KL tanpa penambahan ASP masing-masing sebesar 87.52% dan 81.37% menunjukkan daun berada dalam kondisi terhidrasi optimal (Tabel 1). Pada tanaman budidaya, nilai KAR daun pada kisaran 60%-70% menunjukkan tanaman mengalami proses kelayuan (Zhang *et al.*, 2015). Penurunan KAR daun kedua kultivar mulai terjadi saat kekeringan moderat. Daun padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ mengalami kelayuan saat kekeringan parah. KAR daun Segreng pada kondisi kekeringan moderat tanpa penambahan ASP lebih tinggi dibandingkan ‘Cempo merah’. Hal ini menunjukkan padi ‘Segreng’ lebih toleran terhadap cekaman dibandingkan ‘Cempo merah’. Arjenaki *et al.* (2012) melaporkan kultivar gandum toleran secara signifikan memiliki persentase KAR lebih tinggi dibandingkan kultivar yang sensitif terhadap cekaman kekeringan.

Penambahan ASP pada kondisi kekeringan secara nyata meningkatkan kandungan air relatif daun padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ (Tabel 1). Peningkatan KAR daun terjadi seiring peningkatan ketersediaan air dan dosis ASP. Penambahan ASP sebesar 8 ton ha⁻¹ pada kondisi kekeringan parah meningkatkan kandungan air relatif

daun padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ masing-masing 44.6% dan 23.5% lebih tinggi dibandingkan kontrol tanpa penambahan ASP. Hal ini menunjukkan ASP secara efektif meningkatkan kandungan air relatif padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’. Ahmad and Haddad (2011) melaporkan bahwa penambahan Si dapat meningkatkan KAR pada gandum (*Triticum aestivum* L.) hingga 63.9%.

Indeks Stabilitas Membran (ISM)

Pengukuran status cekaman oksidatif berdasarkan persentase *ion-leakage* menunjukkan indeks stabilitas membran ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ pada kondisi kekeringan parah lebih rendah dibandingkan kontrol (100% KL) (Tabel 2). Kondisi kekeringan menyebabkan penurunan indeks stabilitas membran. Hal ini karena sel yang terdehidrasi menunjukkan adanya kerusakan membran sehingga terjadi perubahan tingkat permeabilitas (Liu *et al.*, 2002). Interaksi penambahan ASP dan kekeringan berpengaruh nyata terhadap indeks stabilitas membran. Pada kondisi 100% kapasitas lapang penambahan ASP secara nyata meningkatkan ISM daun padi ‘Segreng’, namun tidak berpengaruh pada ISM daun padi ‘Cempo merah’ (Tabel 2). Indeks stabilitas membran daun padi ‘Segreng’ lebih tinggi dibandingkan ‘Cempo merah’ pada seluruh variasi dosis ASP. Hal ini menunjukkan bahwa

Tabel 1. Kandungan air relatif (%) daun padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ pada perlakuan ASP dan tingkat kekeringan

Kultivar	Cekaman kekeringan (% kapasitas lapang)	Dosis abu sekam padi (ton ha ⁻¹)		
		0	4	8
Segreng	100%	87.52k	97.37l	97.03l
	50%	71.95d	78.55g	80.96ij
	25%	53.87a	75.85ef	77.90g
Cempo merah	100%	81.37ij	82.54j	88.25k
	50%	64.32c	79.20gh	78.74gh
	25%	61.32b	75.01e	75.71ef

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$

Tabel 2. Indeks stabilitas membran (%) daun padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ pada perlakuan ASP dan tingkat kekeringan

Kultivar	Cekaman kekeringan (% kapasitas lapang)	Dosis abu sekam padi (ton ha ⁻¹)		
		0	4	8
Segreng	100%	85.43d	86.44d	89.45e
	50%	84.28cd	84.08cd	83.99cd
	25%	68.41a	68.38a	76.90b
Cempo merah	100%	86.33d	81.69c	85.55d
	50%	84.14cd	83.65cd	83.33cd
	25%	66.45a	68.27a	77.18b

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$

padi ‘Segreng’ lebih responsif terhadap penambahan ASP daripada ‘Cempo merah’. Penambahan ASP dosis 8 ton ha⁻¹ secara nyata meningkatkan indeks stabilitas membran daun padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ pada kondisi kekeringan parah (Tabel 2). Hal ini sejalan dengan penelitian Gong *et al.* (2005), Si dapat meningkatkan stabilitas lipid membran pada gandum ketika dikondisikan pada kekeringan.

Kadar Asam Askorbat tereduksi (AAred)

Penambahan ASP pada media tanam meningkatkan kadar AAred daun padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’. Pada Tabel 3 ditunjukkan peningkatan kadar AAred terjadi seiring peningkatan dosis ASP. Pemberian Si pada kondisi cekaman diketahui meningkatkan aktivitas enzim yang berperan dalam regenerasi AAred (Li *et al.*, 2008). Penambahan ASP pada kondisi kekeringan berpengaruh nyata terhadap kadar asam askorbat tereduksi (AAred) padi ‘Cempo merah’ (Tabel 3). Penambahan ASP mampu meningkatkan AAred daun padi ‘Cempo merah’ pada 25% kapasitas lapang. Peningkatan kadar antiosidan pada kultivar yang diberikan Si mengindikasikan cekaman oksidatif yang diinduksi oleh kekeringan berkurang karena peningkatan aktivitas ketahanan oksidatif non-enzimatik (Gong *et al.*, 2005). Namun demikian, penambahan ASP tidak menunjukkan adanya peningkatan kadar AAred daun padi ‘Segreng’ pada

kondisi kekeringan. Hal ini kemungkinan karena perbedaan respons ketahanan non-enzimatik pada tiap kultivar (Gunes *et al.*, 2008).

Kadar α -tokoferol

Perlakuan KL berpengaruh nyata terhadap kadar α -tokoferol daun padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’. Kadar α -tokoferol daun ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ saat kekeringan moderat tidak berbeda nyata dengan kontrol (100% KL). Penurunan signifikan kadar α -tokoferol daun padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ terjadi saat kekeringan parah. Penambahan ASP secara nyata meningkatkan kadar α -tokoferol daun padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ (Tabel 4). Interaksi penambahan ASP dan kekeringan berpengaruh nyata terhadap kadar α -tokoferol. Pada padi ‘Segreng’ dengan tingkat kekeringan parah, penambahan ASP 8 ton ha⁻¹ secara signifikan meningkatkan kadar α -tokoferol dibandingkan kontrol, sedangkan pada padi ‘Cempo merah’ penambahan ASP tidak berpengaruh terhadap kadar α -tokoferol (Tabel 4). Bartoli *et al.* (1999) melaporkan kultivar toleran menunjukkan peningkatan kadar α -tokoferol, sementara kultivar yang sensitif mengalami penurunan total α -tokoferol selama kondisi cekaman. Hal penelitian ini menunjukkan padi ‘Segreng’ lebih toleran dibandingkan ‘Cempo merah’.

Tabel 3. Kadar AAred (mg g⁻¹ BS) daun padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ pada perlakuan ASP dan tingkat kekeringan

Kultivar	Cekaman kekeringan (% kapasitas lapang)	Dosis abu sekam padi (ton ha ⁻¹)		
		0	4	8
Segreng	100%	0.94abc	1.28bcde	1.58efg
	50%	1.28bcde	1.34bcde	1.38cdef
	25%	1.08abcd	1.21bcde	1.24bcde
Cempo merah	100%	1.29bcde	1.77fg	1.92f
	50%	0.97abc	1.06abcd	1.48def
	25%	0.74a	1.22bcde	1.27bcde

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$

Tabel 4. Kadar α -tokoferol (mg g⁻¹ BS) daun padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ pada perlakuan ASP dan tingkat kekeringan

Kultivar	Cekaman kekeringan (% kapasitas lapang)	Dosis abu sekam padi (ton ha ⁻¹)		
		0	4	8
Segreng	100%	1.65cd	1.68de	1.85e
	50%	1.47bcd	1.60cd	1.67cd
	25%	1.23ab	1.34abcd	1.60cd
Cempo merah	100%	1.43bc	1.61cd	1.63cd
	50%	1.18ab	1.45bc	1.45bc
	25%	1.05a	1.25ab	1.33abc

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$

Tabel 5. Korelasi antar parameter status cekaman dan kadar antioksidan padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’

Kultivar		ISM	[AAred]
‘Segreng’	[AAred]	0.167ts	
	[α -tok]	0.579**	0.550**
‘Cempo merah’	[AAred]	0.445*	
	[α -tok]	0.432*	0.719**

Keterangan: *Pearson correlation test*: ts = tidak signifikan; * = signifikan pada $p < 0.05$; ** = signifikan pada $p < 0.01$; ISM = Indeks stabilitas membran; AAred = Asam askorbat tereduksi; α -tok: α -tokoferol

Tabel 5 menunjukkan korelasi antar indeks stabilitas membran dan kadar antioksidan (AAred dan α -tokoferol) padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’. Kadar α -tokoferol berkorelasi sangat signifikan dengan kadar asam askorbat daun ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’. Peningkatan biosintesis α -tokoferol sebagai bentuk perlindungan terhadap organel fotosintetik (Li *et al.*, 2008). Hal ini berkaitan dengan fungsi utama α -tokoferol dalam mereduksi singlet oksigen (1O_2) dan radikal hidroksil (OH \cdot) pada membran fotosintetik serta menghambat peroksidasi lipid membran seluler. Selain itu, α -tokoferol juga melindungi gugus hidrosulfida pada protein dari oksidasi oleh molekul ROS (Li *et al.*, 2008). Oleh karena itu, kadar α -tokoferol berkorelasi signifikan terhadap indeks stabilitas membran padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’.

Produksi Padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’

Kekeringan merupakan faktor pembatas produksi tanaman. Penambahan ASP sebagai sumber Si meningkatkan produksi padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’. Hasil penelitian ini menunjukkan jumlah anakan produktif dipengaruhi secara nyata oleh interaksi penambahan ASP dan tingkat kekeringan baik pada padi ‘Segreng’ maupun ‘Cempo merah’ (Tabel 6). Hal ini menunjukkan bahwa ASP memiliki peran penting pada pembentukan jumlah anakan produktif padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ pada kondisi kekeringan. Pada kondisi kekeringan moderat dan parah, penambahan

ASP berpengaruh nyata meningkatkan jumlah anakan padi ‘Segreng’ maupun ‘Cempo merah’. Penambahan ASP dosis 8 ton ha $^{-1}$ secara signifikan meningkatkan jumlah anakan padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ pada kondisi kekeringan moderat dan parah. Gunes *et al.* (2008) melaporkan bahwa pemberian Si mampu meningkatkan toleransi terhadap kekeringan.

Tingkat kekeringan juga berpengaruh nyata menunda waktu pembungaan padi ‘Segreng’ maupun ‘Cempo merah’. Waktu pembungaan padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ semakin lama seiring dengan menurunnya ketersediaan air. Pada kondisi 25% kapasitas lapang terjadi penundaan waktu berbunga pada ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’. Penundaan waktu berbunga menunjukkan adanya hambatan pertumbuhan dan indikator kerentanan tanaman terhadap cekaman kekeringan (Tubur *et al.*, 2012). Namun pemberian ASP berpengaruh nyata mempercepat waktu pembungaan padi ‘Segreng’ maupun ‘Cempo merah’. Waktu munculnya bunga terjadi lebih cepat seiring berkurangnya status cekaman karena penambahan ASP (Tabel 7). Penambahan ASP 8 ton ha $^{-1}$ pada 25% kapasitas lapang mempercepat pembungaan padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ masing-masing 6 dan 8 hari dibandingkan dengan kontrol. Aplikasi pupuk daun yang diekstrak dari ASP signifikan mempercepat waktu pembungaan hingga 2-3 hari dan meningkatkan produksi padi hingga 19% (Li *et al.*, 2014).

Penambahan ASP dan kekeringan berpengaruh nyata pada persentase biji bernas per malai (Tabel 8) dan bobot 100 biji (Tabel 9). Penambahan ASP meningkatkan persentase biji bernas padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’. Bobot 100 biji ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ meningkat secara signifikan dengan penambahan ASP pada kondisi kekeringan parah. Penambahan ASP secara nyata meningkatkan bobot gabah total padi ‘Segreng’ pada kondisi 100% kapasitas lapang, namun pada kondisi 50% kapasitas lapang penambahan ASP tidak berpengaruh.

Kekeringan berpengaruh secara nyata pada penurunan bobot gabah total padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’. Penurunan bobot gabah total seiring dengan peningkatan cekaman kekeringan. Penambahan ASP tidak berpengaruh terhadap bobot gabah total padi ‘Cempo merah’ pada kondisi 100% kapasitas lapang, namun berpengaruh nyata pada peningkatan bobot gabah total padi ‘Cempo merah’

Tabel 6. Jumlah anakan produktif padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ pada perlakuan ASP dan tingkat kekeringan

Kultivar	Cekaman kekeringan (% kapasitas lapang)	Dosis abu sekam padi (ton ha $^{-1}$)		
		0	4	8
Segreng	100%	16cd	15cd	14bc
	50%	12ab	13bc	16cd
	25%	9a	11abc	15bc
Cempo merah	100%	17e	16de	12abc
	50%	9a	13bc	15cd
	25%	9a	10ab	14bc

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$

Tabel 7. Waktu pembungaan (hari) padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ pada perlakuan ASP dan tingkat kekeringan

Kultivar	Cekaman kekeringan (% kapasitas lapang)	Dosis abu sekam padi (ton ha ⁻¹)		
		0	4	8
Segreng	100%	59b	58b	54a
	50%	64cd	61bc	60b
	25%	77gh	76gh	71ef
Cempo merah	100%	65d	64cd	62bcd
	50%	72ef	72ef	70e
	25%	83i	79h	75fg

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$

Tabel 8. Persentase gabah bernas per malai padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ pada perlakuan ASP dan tingkat kekeringan

Kultivar	Cekaman kekeringan (% kapasitas lapang)	Dosis abu sekam padi (ton ha ⁻¹)		
		0	4	8
Segreng	100%	81.48ab	85.30ab	88.34b
	50%	77.13a	79.91ab	80.88ab
	25%	75.86a	77.06a	83.46ab
Cempo merah	100%	84.31ab	83.95ab	87.93b
	50%	78.28ab	80.82ab	84.10ab
	25%	69.73a	71.66a	83.41ab

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$

Tabel 9. Bobot 100 biji (g) padi ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ pada perlakuan ASP dan tingkat kekeringan

Kultivar	Cekaman kekeringan (% kapasitas lapang)	Dosis abu sekam padi (ton ha ⁻¹)		
		0	4	8
Segreng	100%	2.18fgh	2.26hi	2.48i
	50%	2.10defg	2.13fgh	2.21gh
	25%	1.89bc	2.01de	2.06def
Cempo merah	100%	2.12efg	2.15fgh	2.36ij
	50%	2.09defg	2.15fgh	2.17fgh
	25%	1.75a	1.86ab	1.98cd

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$

pada kondisi kekeringan moderat. Hal ini berkaitan dengan perbedaan respons tanaman terhadap penyerapan unsur hara yang berhubungan dengan ketersediaan air.

Bobot gabah total kultivar toleran ‘Segreng’ lebih rendah dibandingkan ‘Cempo merah’ diindikasikan karena perbedaan tingkat ekspresi gen yang meregulasi karakter malai. Bobot gabah total per tanaman ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’ paling tinggi pada pemberian ASP dengan dosis 8 ton ha⁻¹ (Tabel 10). Pengaruh Si terhadap bobot gabah total per tanaman merupakan akumulasi peran Si dalam meningkatkan efisiensi penyerapan air dan hara, mempertahankan laju

fotosintesis (Gerami *et al.*, 2012), serta meminimalisir kerusakan membran oleh ROS selama cekaman kekeringan (Gong *et al.*, 2005). Hasil menunjukkan bahwa pada kondisi kekeringan parah pengaruh penambahan ASP lebih efektif pada kultivar Segreng daripada Cempo merah. Hal ini berkaitan dengan ketahanan tanaman padi ‘Cempo merah’ yang merupakan kultivar sensitif kekeringan.

Tabel 11 menunjukkan korelasi antara indeks stabilitas membran terhadap produktivitas ‘Segreng’ dan ‘Cempo merah’. Penambahan ASP meningkatkan indeks stabilitas membran. Stabilitas membran penting untuk melangsungkan

Tabel 10. Bobot gabah total (g) padi 'Segreng' dan 'Cempo merah' pada perlakuan ASP dan tingkat kekeringan

Kultivar	Cekaman kekeringan (% kapasitas lapang)	Dosis abu sekam padi (ton ha ⁻¹)		
		0	4	8
Segreng	100%	30.48e	42.55ef	40.11f
	50%	16.46bcd	17.80bcd	19.45cd
	25%	7.93a	13.09abc	19.82cd
Cempo merah	100%	47.14f	44.11ef	39.97f
	50%	15.53bc	22.77d	29.73e
	25%	11.98ab	14.80bc	18.39bcd

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$

Tabel 11. Korelasi antara indeks stabilitas membran dengan karakter produksi padi 'Segreng' dan 'Cempo merah'

Karakter produksi	Indeks stabilitas membran	
	'Segreng'	'Cempo merah'
Anakan produktif	0.400*	0.495**
Waktu pembungaan	-0.864*	-0.813**
Persentase biji bernas	0.402*	0.518**
Bobot 100 biji	0.726**	0.837**
Bobot gabah total	0.651*	0.606**

Pearson correlation test * = signifikan pada $p < 0.05$; ** = signifikan pada $p < 0.01$

berbagai proses fisiologis yang berdampak pada pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Indeks stabilitas membran padi 'Segreng' dan 'Cempo merah' berkorelasi positif terhadap jumlah anakan produktif, persentase gabah bernas per malai, bobot 100 biji dan bobot total gabah. Semakin tinggi tingkat stabilitas membran, jumlah anakan produktif semakin banyak, persentase gabah bernas per malai dan bobot 100 biji dan bobot total gabah semakin meningkat serta waktu pembungaan semakin cepat. Durasi fase pengisian biji dan laju mobilisasi asimilat merupakan faktor penentu bobot akhir biji (Barnabas *et al.*, 2008). Semakin cepat waktu pembungaan (*heading*) dapat memaksimalkan mobilisasi asimilat sehingga terjadi peningkatan bobot biji dan jumlah biji bernas. Peningkatan jumlah anakan produktif, bobot 100 biji dan persentase biji bernas menyebabkan bobot total malai per tanaman padi 'Segreng' dan 'Cempo merah' lebih tinggi dengan pemberian ASP pada ketersediaan air berbeda.

KESIMPULAN

Abu sekam padi efektif meningkatkan ketahanan padi terhadap kekeringan. Interaksi antara ASP dan kekeringan berpengaruh nyata terhadap kandungan air relatif, indeks stabilitas membran, kadar antioksidan (AAred dan α -tokoferol), jumlah anakan produktif, waktu pembungaan, persentase biji per malai, bobot 100 biji dan bobot gabah

total. Penambahan ASP meningkatkan kadar antioksidan (AAred dan α -tokoferol) yang berkorelasi positif terhadap produksi padi 'Segreng' dan 'Cempo merah'. Penambahan abu sekam padi lebih efektif pada padi 'Segreng' daripada 'Cempo merah' dalam meningkatkan ketahanan dan produksi pada kondisi kekeringan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai melalui skema Penelitian Fundamental Tahun 2016 dari Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, S.T., R. Haddad. 2011. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Czech J. Genet. Plant Breed.* 47:17-27.
- Almeselmani, M., F. Abdullah, F. Hareri, M. Naaesan, M.A. Ammar, O.Z. Kanbar, A. Saud. 2011. Effect of drought on different physiological characters and yield component in different Syrian durum wheat varieties. *J. Agric. Sci.* 3:127-133.

- Arjenaki, F.G., R. Jabbari, A. Morshed. 2012. Evaluation of drought stress on relative water content, chlorophyll content and mineral elements of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Intl. J. Agri. Crop Sci.* 4:726-729.
- Backer, H., O. Frank, B. De Angells, S. Feingold. 1980. Plasma tocopherol in man at various times after ingesting free or ocetylaned tocopherol. *Nutr. Reports Internat.* 21:531-536.
- Bartoli, C.G., M. Simontacchi, E. Tambussi, J. Beltrano. 1999. Drought and watering-dependent oxidative stress: Effect on antioxidant content in *Triticum aestivum* L. leaves. *J. Exp. Bot.* 50:375-383.
- Barnabas, B., K. Jäger, A. Fehér. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environ.* 31:11-38.
- Cha-um, S., S. Yooyongwech, K. Supaibulwatana. 2010. Water deficit stress in the reproductive stage of four indica rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Pak. J. Bot.* 42:3387-3398.
- Darmawan, K. Kyuma, A. Saleh, A. Subagyo, T. Masunaga, T. Wakatsuki. 2007. Effect of long-term intensive rice cultivation on the available silica content of sawah soils: Java Island, Indonesia. *Soil Sci. Plant Nutr.* 52:745-753.
- Gong, H.J., X.Y. Zhu, K.M. Chen, S.M. Wang, C.L. Zhang. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Sci.* 169:313-321.
- Gerami, M., A. Fallah, M. Khatamimoghadam. 2012. Study of potassium and sodium silicate on the morphological and chlorophyll content on the rice plant in pot experiment (*Oryza sativa* L.). *Inter. J. Agri. Crop. Sci.* 4:658-661.
- Gunes, A., D.J. Pilbeam, A. Inal, S. Coban. 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress. I: growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 39:1885-1903.
- Guo, Z., W. Ou, S. Lu, Q. Zhong. 2007. Differential responses of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differ in sensitivity. *Plant Physiol. and Biochem.* 44:828-836.
- Hasthanasombut, S., V. Ntui, K. Supaibulwatana, M. Mii, I. Nakamura, I. 2010. Expression of indica rice *OsBADH1* gene under salinity stress in transgenic tobacco. *Plant Biotechnol. Rep.* 4:75-83.
- Husnain, T. Wakatsuki, D. Setyorini, Hermansah, K. Sato, T. Masunaga. 2008. Silica availability in soils and river water in two watersheds on Java Island, Indonesia. *Soil Sci. Plant Nutr.* 54:916-927.
- Ji, K.X., Y.Y. Wang, W.N. Sun, Q.J. Lou, H.W. Mei, S.H. Shen, H. Chen. 2012. Drought-responsive mechanisms in rice genotypes with contrasting drought tolerance during reproductive stage. *J. Plant Physiol.* 169:336-344.
- Kumar, S., S.K. Dwivedi, S.S. Singh, B.P. Bhatt, P. Mehta, R. Elanchezhian, V.P. Singh, O.N. Singh. 2014. Morphophysiological traits associated with reproductive stage drought tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes under rain-fed condition of eastern Indo-Gangetic Plain. *Ind. J. Plant Physiol.* 19:87-93.
- Li, Y., Z. Wang, X. Sun, K. Tang. 2008. The current opinions on the functions of tocopherol based on the genetic manipulation of tocopherol biosynthesis in plants. *J. Integrative Plant Biol.* 50:1057-1069.
- Li, Y., G. Wang, H. Yu, W. Guo, D. Wei, X. Yan. 2014. Effects of extracted Si from rice hull ash on rice seed germination and growth. *Acta Agri. Scand. Sec B Soil Plant Sci.* 63:180-185.
- Liu, Y., G. Fiskum, D. Schubert. 2002. Generation of reactive oxygen species by mitochondrial electron transport chain. *J. Neurochem.* 80:780-787.
- Meena, V.D., M.L. Dotaniya, V. Coumar, S. Rajendiran, S. Kundu, A.S. Rao. 2014. A Case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 84:505-518.
- Murshe, R., L-L. Felicie, H. Sallanon. 2013. Effect of water stress on antioxidant systems and oxidative parameter in fruits of tomato (*Solanum lycopersicon* L, cv. Micro-tom). *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 19:363-378.
- Ribeiro, C., J. Cambraia, P. Henrique, P. Peixoto, E. Meira, F. Júnior. 2012. Antioxidant system response induced by aluminum in two rice cultivars. *Braz. J. Plant Physiol.* 24:107-116.
- Suwarto, J. Sutrisno, Suryono. 2015. Utilization of rice husk ash from waste brick factory as silicate fertilizer source in improving quality of paddy (rice) on rainfed land. *J. Environ. Earth Sci.* 5:76-79.
- Szarka, A., B. Tomasskovics, G. Bánhegyi. 2012. The ascorbate-glutathione- α -tocopherol triad in abiotic stress response. *Int. J. Mol. Sci.* 13:4458-4483.

- Tateda, M. 2016. Production and effectiveness of amorphous silica fertilizer from rice husks using a sustainable local energy system. *J. Sci. Res. Reports.* 9:1-12.
- Tubur, H.W., M.A. Chozin, E. Santosa, A. Junaedi. 2012. Respon agronomi varietas padi terhadap kekeringan pada sistem sawah. *J. Agron. Indonesia* 40:167-173.
- Yang, P.M., Q.C. Huang, Q.Y. Qin, S.P. Zhao, J.G. Zhou. 2014. Different drought-stress responses in photosynthesis and reactive oxygen metabolism between autotetraploid and diploid rice. *Photosynthetica* 52:193-202.
- Zain, N.A.M., M.R. Ismail, M. Mahmood, A. Puteh, M.H. Ibrahim. 2014. Alleviation of water stress effects on MR220 rice by application of periodical water stress and potassium fertilization. *Molecules* 19:1795-1819.
- Zhang, T., L-X. Yu, P. Zheng, Y. Li, M. Rivera, D. Main, S.L. Greene. 2015. Identification of loci associated with drought resistance traits in heterozygous autotetraploid alfalfa (*Medicago sativa* L.) using genome-wide association studies with genotyping by sequencing. *PLoS ONE* 10:1-17.