

Evaluasi Galur-galur Padi Mengandung Locus *P Uptake 1 (Pup1)* Toleran Kekeringan

Evaluation of Rice Lines Containing P Uptake 1 (Pup1) Locus for Drought Stress

Suwaji Handaru Wardoyo^{1*}, Miftahudin², Sugiono Moeljopawiro³, dan Joko Prasetyono^{3*}

¹Lembaga Penjaminan Mutu Pendidikan DKI Jakarta
Jl. Nangka No.60 Tanjung Barat, Jagakarsa, Jakarta Selatan, Indonesia

²Departemen Biologi, Fakultas MIPA, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor, Indonesia

³Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian
Jl. Tentara Pelajar 3A, Bogor 16111, Telp.(0251) 8337975; Faks. (0251) 8338820, Indonesia
*E-mail: handaruwardoyo@yahoo.com/jokoprasetyono@yahoo.com

Naskah diterima 10 Juni 2016, direvisi 4 Maret 2017, disetujui diterbitkan 22 Maret 2017

ABSTRACT

Drought, acidity, and P deficiency are problems on upland rice production in Ultisol soil in Indonesia. Pup1 locus in rice plant has a role in uptaking P nutrient and is suspected to function for tolerant to drought. Some BC₂F₆ lines derived from Situ Bagendit varietal cross containing Pup1 locus had been developed through Marker-assisted Backcrossing method, for P uptake and for resistance to blast. This research was aimed to evaluate the effect of Pup1 locus to drought stress condition. The study was divided into two experiments, namely test of polyethylene glycol (PEG) 8000 and root penetration ability test (DTA). The experiment was conducted at the Greenhouse of Indonesian Center for Agricultural Biotechnology and Genetic Resources Research and Development, from November 2012 until May 2013. The number of lines was 52 lines, consisted of 24 lines of BC₂F₆ Situ Bagendit × Kasalath (= SK), 22 lines of Situ Bagendit × NIL-C433 (= SN), three parents namely Situ Bagendit (recurrent parent), Kasalath, and NIL-C433, two tolerant controls for drought namely Cabacu and Gajah Mungkur, and one sensitive control for drought IR20. The research used a completely randomized design for test PEG 8000 and a split-split plot design for test of root penetration ability. Results showed that maximum PEG 8000 concentrations for drought stress study on rice were 20%. Plant containing Pup1 locus was more tolerant to drought stress in PEG 8000 experiment through its longer roots and plumules. Pup1 locus gave a positive effect on root penetration ability, with longer roots and more able to penetrate wax layer. Plant carrying Pup1 locus also showed tolerant to drought on Ultisols soil, as indicated by the increase of dry weight of root and shoot compare to those of parents without Pup1 locus.

Keywords: Rice, Pup1, drought, PEG 8000, root penetration ability.

ABSTRAK

Cekaman kekeringan, kemasaman, dan defisiensi P merupakan masalah dalam produksi padi di tanah Ultisol. Locus *Pup1* pada tanaman padi selain berperan dalam penangkapan P juga diduga

mampu meningkatkan ketahanan terhadap cekaman biotik dan abiotik, termasuk kekeringan. Galur-galur BC₂F₆ Situ Bagendit yang mengandung lokus *Pup1* telah dihasilkan melalui metode Marker-assisted Backcrossing, dan telah dilakukan pengujian terhadap dosis pupuk P dan ketahanan terhadap blas. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh lokus *Pup1* pada kondisi cekaman kekeringan. Penelitian terbagi atas dua percobaan, yakni uji polyethylene glycol (PEG) 8000 dan uji daya tembus akar (DTA), yang dilakukan di Rumah Kaca BB Biogen pada November 2012 sampai Mei 2013. Sebanyak 52 galur yang digunakan terdiri atas 24 galur BC₂F₆ Situ Bagendit × Kasalath (= SK), 22 galur Situ Bagendit × NIL-C433 (= SN), tiga tetua, yaitu Situ Bagendit (tetua berulang/recurrent parent), Kasalath, dan NIL-C433, dua pembanding (cek) toleran cekaman kekeringan, yakni Cabacu dan Gajah Mungkur, dan satu cek peka cekaman kekeringan yakni IR20. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap untuk uji PEG 8000 dan rancangan petak-petak terpisah untuk uji DTA. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi PEG 8000 untuk cekaman kekeringan pada tanaman padi maksimal 20%. Locus *Pup1* lebih toleran terhadap cekaman kekeringan pada percobaan PEG 8000 melalui akar dan plumula yang lebih panjang. Locus *Pup1* memberikan pengaruh positif pada percobaan daya tembus akar dengan akar yang lebih panjang dan lebih banyak menembus lilin. Locus *Pup1* juga menunjukkan toleran kekeringan pada tanah Ultisol dengan bobot kering akar dan tajuk lebih besar dibanding tetua tanpa lokus *Pup1*.

Kata kunci: Padi, *Pup1*, kekeringan, PEG 8000, daya tembus akar.

PENDAHULUAN

Keracunan dan defisiensi hara merupakan masalah utama yang menghambat produksi padi di dunia, dimana di Asia sekitar 50% lahan padi mengalami kekurangan hara fosfor (P) (Ismail *et al.* 2007). Di Indonesia, luas lahan kering masam mencapai 60% dari total lahan kering yang ada, atau 25% dari total luas daratan Indonesia (BPS 2008). Permasalahan pokok

tanah di lahan tersebut adalah pH rendah, Al tinggi, dan hara P tersedia kurang. Kadar P yang tinggi belum tentu tersedia bagi tanaman. Permasalahan kekeringan di daerah tersebut dapat berdampak negatif pada hasil tanaman padi.

Kekeringan mempengaruhi tanaman padi dalam berbagai aspek (Pandey dan Sukhla 2015). Secara morfologi kekeringan berpengaruh terhadap pengurangan daya kecambah, tinggi tanaman, biomas, jumlah anakan, perakaran, dan daun. Secara fisiologis, kekeringan berakibat pada pengurangan fotosintesis, transpirasi, konduktansi stomata, efisiensi penggunaan air, kandungan air relatif, kandungan klorofil, aktivitas fotosistem II, stabilitas membran, diskriminasi/perubahan isotop karbon, dan kandungan asam absisik. Secara biokimia, kekeringan mempengaruhi jumlah akumulasi osmoprotektan, seperti prolin, gula, poliamin dan antioksidan. Secara molekuler, kekeringan dapat mengubah ekspresi gen-gen yang mengkode faktor transkripsi dan protein yang berhubungan dengan mekanisme pertahanan tanaman.

Arsitektur akar padi sangat menentukan toleransi terhadap kekeringan. Pola pertumbuhan akar padi yang unik pada lahan tergenang (sawah) diperkirakan mempengaruhi terjadinya kekeringan (Henry *et al.* 2012). Comas *et al.* (2013) menyebutkan arsitektur akar seperti diameter, panjang akar spesifik, dan kerapatan akar menentukan kemudahan pengambilan hara pada kondisi kekeringan. IRRI telah melakukan penelitian kekeringan dengan memfokuskan pada peubah hasil gabah, bukan pada arsitektur akar. Sebanyak 17 varietas padi yang memiliki hasil tinggi pada kondisi kekeringan telah dilepas di Asia Selatan, Asia Tenggara, dan Afrika. Varietas Vandana digunakan sebagai donor kekeringan. Enam QTL yang terkait dengan hasil (*qDTY1.1*, *qDTY2.2*, *qDTY3.1*, *qDTY3.2*, *qDTY6.1*, dan *qDTY12.1*) pada kondisi cekaman kekeringan telah diidentifikasi (Kumar *et al.* 2014). Trijatmiko *et al.* (2014) juga telah membuat peta QTL untuk sifat penggulangan daun, daya cabut akar, dan delapan karakter kekeringan pada material genetik IR64 × Cabacu.

Lokus *Pup1* merupakan salah satu lokus dalam kromosom padi (kromosom 12) yang berperan dalam penangkapan P tersedia di tanah. Lokus ini dipetakan dengan baik dan beberapa marka untuk lokus tersebut telah dibuat (Chin *et al.* 2010, 2011) dan diketahui beberapa gen berperan dalam mekanisme penangkapan P yang lebih baik pada tanaman yang memiliki lokus tersebut dibanding dengan yang tidak memiliki. Heuer *et al.* (2009) menyebutkan dalam lokus *Pup1* terdapat tiga gen penting, yakni *dirigent-like*, *fatty acid á-dioxygenase*, dan *aspartic proteinase*. Gen-gen tersebut sangat berperan dalam peningkatan ketahanan terhadap kekeringan, keracunan aluminium, dan

ketahanan terhadap penyakit tanaman padi. Tanaman padi yang memiliki lokus *Pup1* diketahui memiliki perakaran yang lebih banyak dibanding dengan yang tidak memiliki lokus *Pup1* pada larutan hara. Gen yang bertanggung jawab pada pembentukan akar ini kemudian disebut *Pstol1*, yang berada pada posisi 275.525 sampai 276.499 bp pada kromosom 12 (Gamuyao *et al.* 2012). Oleh karena itu, introgresi lokus *Pup1* pada tanaman padi diharapkan dapat meningkatkan toleransinya terhadap kekurangan P dan cekaman kekeringan sekaligus.

Introgresi lokus *Pup1* pada varietas Situ Bagendit telah dilakukan melalui pendekatan *marker-assisted backcrossing* (Prasetyono 2010, Prasetyono *et al.* 2012) dan telah dihasilkan galur-galur BC₂F₆ yang berasal dari persilangan Situ Bagendit × Kasalath dan Situ Bagendit × NIL-C443. Galur-galur tersebut telah diuji pada kondisi P kurang dan cukup (Prasetyono *et al.* 2011), dan terhadap penyakit blas (Tasliyah *et al.* 2015), namun belum pernah diuji secara khusus untuk toleransi terhadap cekaman kekeringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh lokus *Pup1* pada kondisi cekaman kekeringan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Rumah Kaca Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian (BB Biogen) dari November 2012 sampai Mei 2013. Galur yang digunakan sebanyak 52 terdiri atas 24 galur BC₂F₆ Situ Bagendit × Kasalath (= SK), 22 galur Situ Bagendit × NIL-C433 (= SN), tiga tetua, yaitu Situ Bagendit (tetua berulang/*recurrent parent*), Kasalath, dan NIL-C433, dua pembanding toleran cekaman kekeringan, yakni Cabacu (Trijatmiko *et al.* 2014) dan Gajah Mungkur (Suardi *et al.* 2000), dan satu kontrol peka cekaman kekeringan yakni IR20. Materi penelitian tersebut digunakan berdasarkan uji PEG dan daya tembus akar. Analisis molekuler membuktikan seluruh galur *Pup1* (SK dan SN) mengandung lokus *Pup1* (Wardoyo *et al.* 2014).

Penelitian terbagi ke dalam dua percobaan terpisah, yakni pengujian menggunakan *Polyethylene Glycol* 8000 (PEG 8000) dan uji daya tembus akar. Pengujian dengan PEG 8000 dilakukan pada benih selama 10 hari, sedangkan uji daya tembus akar dilakukan pada bibit sampai berumur empat minggu.

Percobaan PEG 8000

Percobaan PEG menggunakan rancangan acak lengkap dengan empat perlakuan PEG, 52 galur/varietas, dan tiga ulangan. Konsentrasi larutan PEG 8000 yang digunakan

yaitu 0%, 10%, 20%, dan 30%, setara dengan 0, -0.25, -0.5, dan -0.75 Mpa atau 0, 3.7, 7.4 dan 12 bar (Suardi 2000). Benih dari masing-masing galur/varietas dikecambahkan pada *petridish* yang mengandung larutan *Polyethylene Glycol* (PEG) 8000. Pada setiap *petridish* ditanam benih sebanyak 10 butir. *Petridish* yang telah berisi benih dan diberi perlakuan PEG diinkubasi pada suhu ruang dan setelah hari ke-10 dilakukan pengamatan. Peubah yang diamati adalah panjang tunas (panjang plumula), panjang akar, bobot basah, dan bobot kering kecambah.

Percobaan Daya Tembus Akar (DTA)

Percobaan DTA menggunakan rancangan petak-petak terpisah (*split-split plot design*). Petak utama adalah jenis tanah (dua jenis), anak petak adalah pupuk P (dua dosis), dan anak-anak petaknya adalah galur (52 galur). Setiap kombinasi perlakuan diulang tiga kali. Benih padi dikecambahkan dalam *petridish* selama 3 hari, kemudian dipilih dua kecambah yang seragam dengan akar yang tidak terlalu panjang untuk ditanam dalam media daya tembus akar (DTA). Jenis tanah yang digunakan adalah Oksisol (Latosol) dan Ultisol (Podsolik Merah Kuning), masing-masing diambil dari Kebun Percobaan Cikeumeuh, BB Biogen (Bogor, Jawa Barat) dan Desa Kentrong (Kec. Cipanas, Kab. Lebak, Prov. Banten).

Sumber hara P adalah SP36, dengan dosis menurut anjuran IRRI (1996), yakni 25 kg P/ha (setara 159 kg SP36/ha). Pupuk dasar yang digunakan 113 kg N/ha (setara 250 kg urea/ha), dan 60 kg K₂O/ha (setara 100 kg KCl/ha). Perlakuan diulang tiga kali. Tanah Oksisol dan Ultisol dikeringanginkan selama 2 bulan di rumah kaca. Media tumbuh terdiri atas campuran tanah, pasir, dan pupuk organik 6:3:1. Pot yang digunakan adalah gelas air mineral yang terbuat dari plastik berukuran ± 230 cc (± 300 g) yang bagian dasarnya dilapisi campuran parafin dan vaselin (60%:40%) dengan ketebalan 3 mm. Campuran media tumbuh ini mempunyai tingkat kekerasan setara 12 bar.

Benih yang telah berkecambah ditanam pada masing-masing gelas plastik yang telah berisi tanah. Pada saat tanaman berumur 1 minggu, gelas-gelas percobaan ditempatkan di atas gelas plastik berukuran lebih pendek bertutup yang diberi lubang. Gelas plastik yang terletak di bawah diberi larutan hara formula Yoshida (Yoshida *et al.* 1976). Setiap gelas plastik berisi tanah disiram dengan air tiga kali seminggu pada dua minggu pertama, kemudian sekali seminggu pada dua minggu terakhir. Masing-masing gelas disiram sebanyak 60 ml air. Setelah tanaman berumur empat minggu, tanaman dicabut dengan hati-hati kemudian akarnya dibersihkan dari lapisan dasar pot dan tanah yang menempel. Peubah

yang diamati meliputi jumlah dan panjang akar yang menembus lapisan lilin, panjang akar total, tinggi tajuk, bobot basah akar, bobot basah tajuk, bobot kering akar, dan bobot kering tajuk.

Analisis Data

Data yang diperoleh pada percobaan PEG 8000 dan percobaan DTA dianalisis dengan metode sidik ragam menggunakan program SAS v. 9.

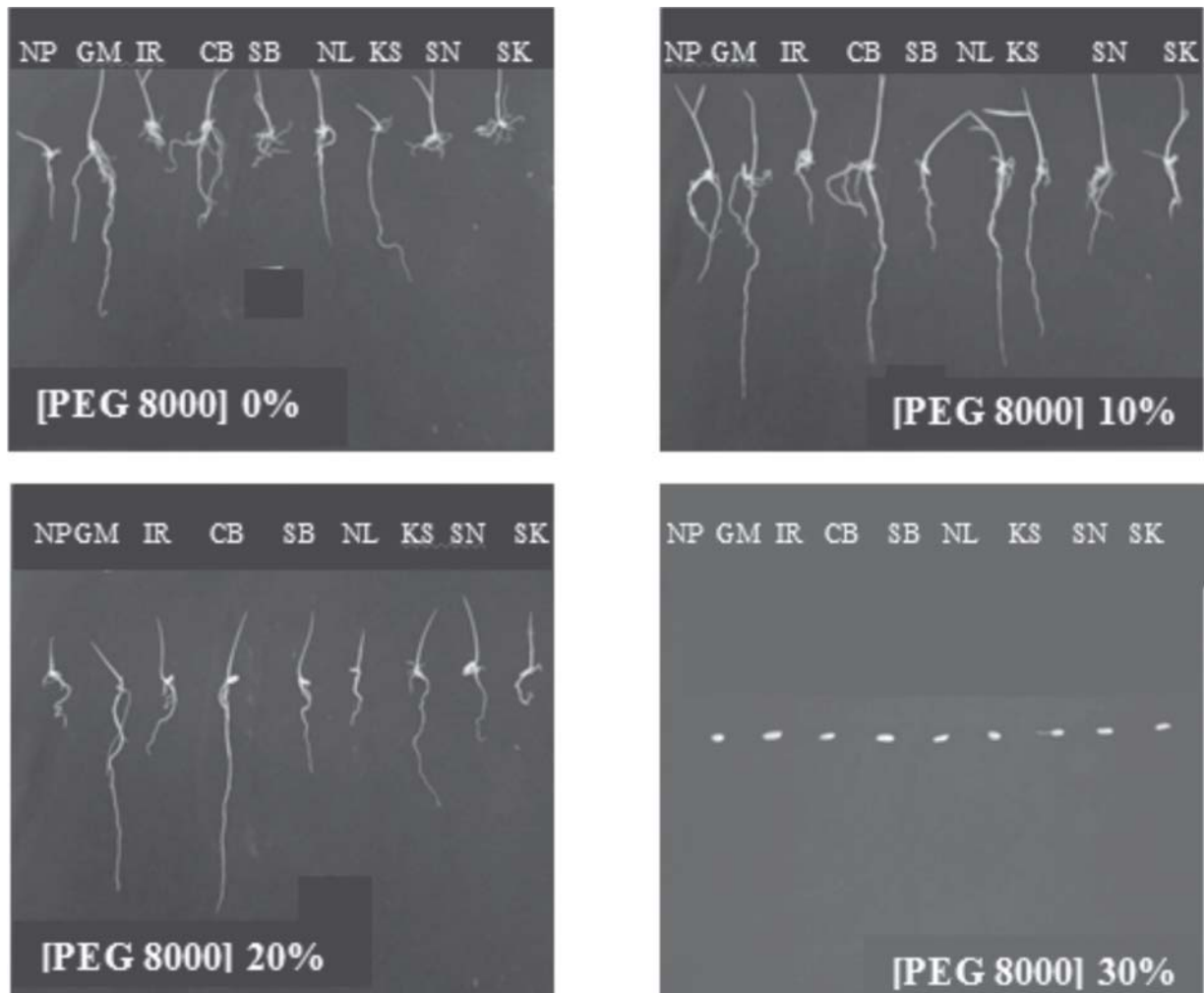
HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan PEG 8000

Kasalath dan NIL-C433 sebagai tetua donor *Pup1* memiliki panjang akar yang lebih baik dari IR20 (peka kekeringan) dan Situ Bagendit (tetua berulang/*recurrent parent*) (Gambar 1). Perlakuan berbagai konsentrasi larutan PEG 8000 berpengaruh sangat nyata terhadap panjang akar (PA), panjang plumula (PP), dan bobot kering kecambah (BKK), tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap bobot basah kecambah (BBK) pada turunan SK dan SN (Tabel 1). Perlakuan larutan PEG 8000 pada berbagai konsentrasi menunjukkan lebih jelas pengaruhnya terhadap pemanjangan akar dibanding pemanjangan plumula.

Panjang akar digunakan sebagai peubah dalam seleksi daya tumbuh benih genotipe toleran cekaman kekeringan, dengan metode seleksi larutan PEG 8000. Pada percobaan ini, pertumbuhan akar (PA) dan plumula (PP) semua genotipe mengalami penurunan pada setiap konsentrasi larutan PEG 8000 dinaikkan, kecuali Kasalath dan turunan SK (Gambar 2 dan 3). Pada perlakuan larutan PEG 8000 konsentrasi 10% justru Kasalath dan turunan SK memiliki panjang akar dan plumula lebih baik dibandingkan dengan konsentrasi yang lebih rendah atau lebih tinggi.

Rata-rata panjang akar (PA) turunan SK dan turunan SN pada perlakuan larutan PEG 8000 konsentrasi 20% juga lebih rendah dari tetua donor *Pup1* (Kasalath dan NIL-C433). Namun demikian, rata-rata PA galur-galur turunan SK dan SN lebih baik dari PA kontrol peka kekeringan (IR20) dan tetua berulang (Situ Bagendit). Pada larutan PEG 8000 konsentrasi 30%, benih tidak tumbuh untuk semua genotipe yang diuji dan genotipe kontrol. Semakin pekat konsentrasi larutan PEG semakin banyak subunit etilena yang mengikat air (H₂O) sehingga tanaman mengalami cekaman kekeringan (Verslues *et al.* 2006). Larutan PEG 8000 konsentrasi 20% cukup efektif dalam menyeleksi galur-galur *Pup1* terhadap kekurangan air. PEG 8000 yang dilarutkan dalam air menyebabkan molekul air (H₂O) tertarik ke atom oksigen



Gambar 1. Respons panjang akar (PA) pada berbagai konsentrasi larutan PEG 8000 pada hari ke-10. Rumah kaca BB Biogen, Nov. 2012-Mei 2013. NP = Nipponbare, GM = Gajah Mungkur (kontrol toleran kekeringan), IR = IR20 (kontrol peka kekeringan), CB = Cabacu (kontrol toleran kekeringan), SB = Situ Bagendit, NL = NIL-C433, KS = Kasalath, SN = SN22 (turunan SN), SK = SK1 (turunan SK).

Tabel 1. Nilai F hitung hasil analisis sidik ragam empat peubah bibit padi pada larutan PEG 8000. Rumah Kaca BB Biogen, Nov. 2012-Mei 2013.

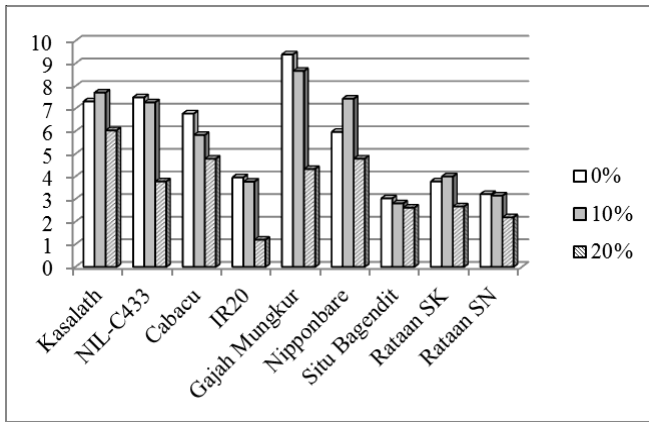
Sumber	PA	PP	BBK	BKK
Turunan SK dan Situ Bagendit				
Galur/varietas	8,3 ^{**}	4,0 ^{**}	1,2 ^{tn}	3,3 ^{**}
PEG 8000	288,9 ^{**}	595,4 ^{**}	90 ^{**}	11,7 ^{**}
Turunan SN dan Situ Bagendit				
Galur/varietas	10,1 ^{**}	1,3 ^{tn}	1,1 ^{tn}	3,2 ^{**}
PEG 8000	224,1 ^{**}	914,6 ^{**}	101 ^{**}	4,9 ^{**}
Gabungan turunan SK, turunan SN dan Situ Bagendit				
Galur/varietas	7,8 ^{**}	3,3 ^{**}	0,9 ^{tn}	2,4 ^{**}
PEG 8000	504,6 ^{**}	1344,5 ^{**}	165,7 ^{**}	12,4 ^{**}

PA = Panjang akar (cm), PP = Panjang plumula (cm), BBK = Bobot basah kecambah (g), BKK = Bobot kering kecambah (g), ** = nyata pada taraf $\alpha = 0,01$, * = nyata pada taraf $\alpha = 0,05$, tn = tidak nyata.

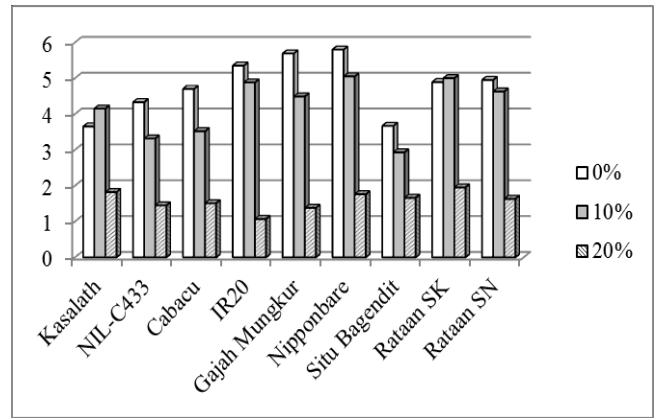
pada subunit etilena oksida melalui ikatan hidrogen sehingga potensial air menurun. PEG 8000 dapat menghambat penyerapan air oleh sel atau jaringan tanaman menyebabkan tanaman kekurangan air. Kekurangan air (cekaman air) pada saat benih berkecambah menyebabkan metabolisme benih terganggu, akibatnya air yang diperlukan tanaman tidak cukup. Afa *et al.* (2012) melaporkan apabila menggunakan PEG 6000 untuk skrining padi konsentrasi yang optimum adalah pada konsentrasi 25%.

Percobaan Daya Tembus Akar

Tanah Oksisol dan Ultisol memiliki karakteristik yang berbeda. Hasil analisis tanah menunjukkan hara tanah Ultisol sangat kurus dengan pH sangat rendah (pH 4,2). Kadar Al tanah Ultisol sekitar 124,2 ppm dengan



Gambar 2. Panjang akar pada berbagai konsentrasi larutan PEG 8000. Rumah kaca BB Biogen, Nov. 2012-Mei 2013.



Gambar 3. Panjang plumula pada berbagai konsentrasi larutan PEG 8000. Rumah kaca BB Biogen, Nov. 2012-Mei 2013.

Tabel 2. Nilai F hitung hasil analisis sidik ragam beberapa karakter agronomis pada percobaan DTA. Rumah kaca BB Biogen, Nov. 2012-Mei 2013.

Sumber	PATel	JATel	PATo	TTj	BBA	BBTj	BKA	BKTj
Ulangan	1,5 ^{tn}	0,8 ^{tn}	4,1 [*]	1,6 ^{tn}	3,8 [*]	6,0 ^{**}	0,1 ^{tn}	1,2 ^{tn}
Tanah	0,7 ^{tn}	0,8 ^{tn}	0,04 ^{tn}	115 ^{**}	2,2 ^{tn}	6,0 [*]	2,1 ^{tn}	47,8 [*]
Pupuk	0,1 ^{tn}	2,0 ^{tn}	0,4 ^{tn}	2,0 ^{tn}	40,2 ^{**}	39 ^{**}	0,2 ^{tn}	0,1 ^{tn}
Tanah x Pupuk	0,9 ^{tn}	2,3 ^{tn}	0,7 ^{tn}	10,1 ^{**}	5,1 [*]	0,3 ^{tn}	1,1 ^{tn}	3,1 ^{tn}
Galur	6,1 ^{tn}	3,9 ^{**}	7,6 ^{..}	6,0 ^{**}	2,7 ^{**}	3,1 ^{**}	5,4 ^{**}	5,6 ^{**}
Tanah x Galur	1,4 ^{tn}	0,8 ^{tn}	1,8 [*]	1,5 ^{tn}	1,9 [*]	1,6 [*]	1,6 [*]	1,3 ^{tn}
Pupuk x Galur	0,2 ^{tn}	1,0 ^{tn}	0,3 ^{tn}	1,1 ^{tn}	1,0 ^{tn}	0,8 ^{tn}	0,9 ^{tn}	0,9 ^{tn}
Tanah x Pupuk x Galur	0,2 ^{tn}	0,8 ^{tn}	0,5 ^{tn}	0,9 ^{tn}	1,1 ^{tn}	0,8 ^{tn}	0,6 ^{tn}	0,8 ^{tn}

PATel = Panjang akar tembus lilin, JATel = Jumlah akar tembus lilin, PATo = Panjang akar total, TTj = Tinggi tajuk, BBA = Bobot basah akar, BBTj = Bobot basah tajuk, BKA = Bobot kering akar, BKTj = Bobot kering tajuk.

** = nyata pada taraf $\alpha = 0,01$, * = nyata pada taraf $\alpha = 0,05$, tn = tidak nyata.

kejenuhan Al sangat tinggi, yakni 61,09%. Tanah Oksisol memiliki pH 4,8 (lebih tinggi dibanding tanah Ultisol), kadar Al 5,9 ppm. Kejenuhan Al tanah Oksisol lebih rendah dibanding tanah Ultisol, yakni sekitar 5,5%. Berdasarkan ketersediaan P, tanah Ultisol memiliki P total 319,8 ppm dan yang tersedia hanya 0,17 ppm (0,05% tersedia untuk tanaman). Tanah Oksisol memiliki P total 1090 ppm, dan yang tersedia 14,6 ppm (1,34% tersedia untuk tanaman). Kandungan Al tanah Ultisol sangat tinggi, yang menjadi salah satu faktor penjerap P yang mengakibatkan P tidak tersedia bagi tanaman. Berdasarkan hal tersebut, tanah Oksisol memiliki kondisi yang lebih baik bagi tanaman. Dobermann dan Fairhurst (2000) menyebutkan tanaman padi akan mengalami keracunan Al bila tanah memiliki pH (H_2O) kurang dari 5, kejenuhan Al >30%, dan kandungan Al > 1-2 ppm.

Hasil analisis sidik ragam turunan SK dan turunan SN menunjukkan perlakuan tanah memberikan perbedaan pada tinggi tajuk, bobot basah tajuk, dan bobot kering tajuk (Tabel 2). Perlakuan pupuk hanya

memberikan pengaruh pada perbedaan bobot basah akar dan tajuk, sedangkan perlakuan galur memberikan pengaruh perbedaan semua peubah yang diamati. Hal ini menunjukkan pengaruh galur lebih dominan pada percobaan cekaman daya tembus akar.

Panjang akar tembus lilin (PATel) dan jumlah akar tembus lilin (JATel)

Pada kondisi kurang P (tanpa pupuk P) di tanah Oksisol, akar tembus lilin untuk galur turunan SK, turunan SN, dan Kasalath lebih panjang dibandingkan dengan kondisi cukup P (dengan pupuk P). Di tanah Ultisol pada kondisi kurang P, genotipe Cabacu dan turunan SK memiliki akar yang lebih panjang dibandingkan kondisi cukup P (Tabel 3). Daya tembus akar genotipe IR20, NIL-C433, dan Nipponbare pada percobaan ini cukup rendah, baik pada tanah Oksisol maupun Ultisol. Sebaliknya, genotipe Cabacu (dan Gajah Mungkur) memiliki akar tembus lilin yang lebih panjang dibandingkan dengan genotipe lainnya. Beberapa galur

Tabel 3. Panjang akar tembus lilin (PATel) dan jumlah akar tembus lilin (JATel) pada uji daya tembus akar (DTA). Rumah kaca BB Biogen, Nov. 2012-Mei 2013.

Genotipe	Panjang akar tembus lilin (cm)				Jumlah akar tembus lilin			
	Tanah Oksisol		Tanah Ultisol		Tanah Oksisol		Tanah Ultisol	
	OP	100P	OP	100P	OP	100P	OP	100P
Kasalath	4,4	2,73	8,00	8,37	2,00	1,00	2,67	4,00
NIL-C433	0,0	0,25	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
Cabacu	9,5	20,00	17,00	7,73	8,00	2,00	8,00	1,67
IR20	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gajah Mungkur	9,0	10,33	0,15	2,88	3,67	1,67	1,00	1,33
Nipponbare	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	1,00
Situ Bagendit (SB)	0,00	1,55	0,20	0,30	0,00	1,00	1,00	1,00
Kisaran SK	0-17	0-12	0-12	0-8,3	0-4,0	0-4,0	0-2,0	0-2,0
Rataan SK	1,93	1,56	2,02	1,95	1,23	1,00	1,03	0,93
% SK > SB	70,8%	16,7%	41,7%	58,3%	66,7%	8,3%	37,5%	20,8%
Kisaran SN	0-16	0-0,8	0-2,2	0-6,0	0-8,0	0-3,0	0-3,0	0-2,0
Rataan SN	1,35	0,07	0,17	0,35	0,91	0,39	0,95	0,87
%SN > SB	40,9%	0%	4,6%	4,6%	45,5%	13,6%	27,3%	18,2%

OP = tanpa pupuk P, 100P = dipupuk P, % SK > SB = persentase jumlah galur SK yang nilai PATel dan JATel nya melebihi Situ Bagendit, % SN > SB = persentase jumlah galur SN yang nilai PATel dan JATel nya melebihi Situ Bagendit.

turunan SK dan SN memiliki PATel melebihi genotipe Gajah Mungkur. Ini menunjukkan lokus *Pup1* yang terintegrasi dalam galur SK dan SN berperan dalam penyerapan unsur P pada kondisi tanah kurang P dan tercekam kekeringan.

Panjang akar tembus lilin (PATel) galur turunan SK dan SN tidak ada yang melebihi genotipe Cabacu, baik pada tanah Oksisol maupun Ultisol (Tabel 3), namun ada beberapa galur yang memiliki panjang akar melebihi Situ Bagendit, bahkan melebihi 10 cm. Akar tembus lilin Situ Bagendit paling panjang hanya 1,55 cm. Hal ini menunjukkan galur-galur yang mengandung lokus *Pup1* memberikan pengaruh nyata terhadap panjang akar tembus lilin.

Jumlah akar tembus lilin (JATel) genotipe Cabacu, Gajah Mungkur, dan Kasalath pada kondisi kurang P di tanah Oksisol lebih banyak dibandingkan dengan kondisi cukup P. Pada tanah Oksisol maupun Ultisol, genotipe Cabacu menunjukkan JATel paling banyak. Pemilihan galur terbaik dalam penelitian ini didasarkan panjang dan jumlah akar menembus lilin yang dimiliki dari galur-galur yang terseleksi. Suardi (2000) melaporkan apabila jumlah akar tanaman yang menembus lapisan lilin semakin banyak maka air yang ditranspirasikan semakin besar. Galur turunan SK dan SN yang memiliki panjang dan jumlah akar tembus lapisan lilin konsisten lebih tinggi dibanding Situ Bagendit dan mendekati Gajah Mungkur. Galur tersebut adalah SK2, SK18, dan SN13. Galur-galur terpilih memiliki PATel dan JATel mendekati genotipe Cabacu dan Gajah Mungkur. Galur yang jumlah akarnya lebih banyak

menembus lilin dibanding Situ Bagendit terjadi pada kondisi kurang P, baik pada persilangan SK maupun SN. Hal ini menunjukkan pada kondisi kurang hara, akar tanaman tumbuh ke bawah secara cepat, berusaha memperoleh hara di lapisan tanah lebih bawah. Lokus *Pup1* berperan merangsang akar lebih cepat tumbuh dan merangsang pembentukan lignin (Heuer *et al.* 2009), agar akar menjadi lebih keras sehingga mampu menembus lilin. Galur tersebut mempunyai kemampuan toleransi terhadap cekaman kurang P dan cekaman kekeringan yang lebih baik dari galur-galur turunan lainnya. Genotipe yang perakarannya mampu menembus lapisan tanah relatif keras diharapkan mampu meningkatkan hasil karena memperoleh hara yang optimum dan terhindar dari cekaman kekeringan.

Panjang akar total (PATo) dan tinggi tajuk

Konsentrasi P dalam pupuk dan tanah yang digunakan berpengaruh terhadap pertumbuhan tinggi tanaman pada galur-galur turunan SK dan SN. Pada kondisi dipupuk, tanaman lebih tinggi dibandingkan dengan tidak dipupuk. Tanaman pada tanah Oksisol lebih tinggi daripada di tanah Ultisol (Tabel 4).

Pada kondisi kurang P dan tanah yang sangat masam (tanah Ultisol), galur-galur turunan SN menunjukkan pertumbuhan akar dan tinggi tanaman yang lebih baik. Akan tetapi, pada kondisi kurang P dan kemasaman tanah yang lebih rendah (tanah Oksisol) justru galur-galur turunan SK yang lebih baik (Tabel 4). Tasliah *et al.* (2011) membuktikan pada kondisi kurang

Tabel 4. Panjang akar total dan tinggi tajuk pada uji daya tembus akar (DTA). Rumah kaca BB Biogen, Nov. 2012-Mei 2013.

Genotipe	Panjang akar total (cm)				Tinggi tajuk (cm)			
	Tanah Oksisol		Tanah Ultisol		Tanah Oksisol		Tanah Ultisol	
	OP	100P	OP	100P	OP	100P	OP	100P
Kasalath	10,8	8,6	16,0	18,3	33,2	21,5	32,0	29,2
NIL-C433	7,0	8,2	7,8	8,0	15,0	18,4	17,0	10,5
Cabacu	17,5	15,8	15,3	16,2	35,5	31,7	33,3	31,5
IR20	5,3	6,8	6,2	6,2	19,5	18,0	15,1	15,9
Gajah Mungkur	17,8	20,5	7,8	11,3	33,9	28,2	14,5	21,7
Nipponbare	8,0	6,7	6,5	7,0	33,0	16,7	19,5	20,6
Situ Bagendit (SB)	7,00	7,90	5,83	6,33	15,00	24,50	14,23	13,67
Kisaran SK	5,6-12,8	5,9-10	4-14,3	6,8-13,9	17-34	19-36,7	13-28,7	13-32
Rataan SK	8,20	7,33	8,13	9,31	24,48	25,33	18,09	21,31
% SK > SB	79,17%	25%	91,67%	100%	100%	54,17%	91,67%	95,83%
Kisaran SN	4,8-12,9	5,3-8,6	5,1-8	6,1-9,5	17,6-30,4	21,5-28,2	12,7-22,8	14,3-26
Rataan SN	7,10	6,94	6,92	7,43	23,82	24,15	16,04	19,41
% SN > SB	31,82%	9,1%	90,91%	95,46%	100%	40,9%	77,3%	95,5%

OP = tanpa pupuk P, 100P = dipupuk P, % SK > SB = persentase jumlah galur SK yang nilai panjang akar total dan tinggi tajuknya melebihi Situ Bagendit, % SN > SB = persentase jumlah galur SN yang nilai panjang akar total dan tinggi tajuknya melebihi Situ Bagendit.

Tabel 5. Bobot kering akar dan bobot kering tajuk pada uji daya tembus akar (DTA). Rumah kaca BB Biogen, Nov. 2012-Mei 2013.

Genotipe	Bobot kering akar (g)				Bobot kering tajuk (g)			
	Tanah Oksisol		Tanah Ultisol		Tanah Oksisol		Tanah Ultisol	
	OP	100P	OP	100P	OP	100P	OP	100P
Kasalath	0,033	0,011	0,025	0,031	0,111	0,046	0,063	0,080
NIL-C433	0,036	0,008	0,033	0,004	0,090	0,033	0,057	0,016
Cabacu	0,066	0,050	0,129	0,094	0,188	0,119	0,216	0,180
IR20	0,030	0,020	0,034	0,028	0,083	0,065	0,065	0,063
Gajah Mungkur	0,070	0,059	0,028	0,050	0,176	0,136	0,051	0,102
Nipponbare	0,033	0,014	0,025	0,028	0,089	0,041	0,055	0,063
Situ Bagendit (SB)	0,036	0,035	0,019	0,024	0,09	0,1	0,041	0,042
Kisaran SK	0,011-0,036	0,01-0,039	0,011-0,05	0,011-0,078	0,029-0,124	0,03-0,14	0,032-0,075	0,029-0,129
Rata-rata SK	0,024	0,023	0,029	0,038	0,08	0,085	0,056	0,074
%SK > SB	0%	8,33%	90,91%	90,91%	37,5%	25%	79,17%	83,33%
Kisaran SN	0,017-0,045	0,015-0,043	0,014-0,062	0,016-0,054	0,053-0,12	0,058-0,126	0,0307-0,117	0,032-0,105
Rata-rata SN	0,028	0,027	0,028	0,031	0,086	0,09	0,052	0,063
%SN > SB	13,64%	22,73%	77,27%	68,18%	40,91%	27,27%	63,64%	86,36%

OP = tanpa pupuk P, 100P = dipupuk P, % SK > SB = persentase jumlah galur SK yang nilai bobot kering akar dan bobot kering tajuknya melebihi Situ Bagendit, % SN > SB = persentase jumlah galur SN yang melebihi nilai bobot kering akar dan bobot kering tajuknya Situ Bagendit.

P (konsentrasi P 0,5 ppm pada larutan hara Yoshida), akar lebih panjang dibanding pada kondisi cukup P (konsentrasi P 10 ppm pada larutan hara Yoshida). Semakin panjang akar diasumsikan semakin meningkat ketahanan galur terhadap defisiensi P. Untuk itu, panjang akar yang menembus lapisan lilin dalam penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam menentukan tingkat toleransi kekeringan dengan menggabungkan jumlah akar dan diameter akar yang menembus lapisan lilin.

Bobot kering akar (BKA) dan bobot kering tajuk (BKT)

Pemberian pupuk P nyata meningkatkan bobot kering tajuk dengan besaran 20-35%. Nilai BKT galur turunan SK dan SN pada tanah Oksisol ternyata tidak melebihi genotipe tetua donor *Pup1* (Kasalath dan NIL-C433), baik pada kondisi dipupuk maupun tidak dipupuk P. Namun demikian, pada tanah Ultisol, galur *Pup1* mengalami peningkatan bobot kering tajuk (Tabel 5). Pada tanah

Ultisol, galur-galur *Pup1* mengalami peningkatan bobot kering tanaman (BKT) 29+75% dibanding tetua pemulih (Situ Bagendit). Bobot kering tajuk (BKT) dipengaruhi oleh bobot kering akar (BKA), dan BKA sendiri dipengaruhi oleh dosis P. Semakin panjang dan semakin banyak akar yang tembus lilin semakin tinggi bobot kering tajuk.

KESIMPULAN

Konsentrasi PEG 8000 yang sesuai untuk penelitian cekaman kekeringan pada tanaman padi maksimum 20%. Lokus *Pup1* lebih toleran terhadap cekaman kekeringan pada percobaan PEG 8000 melalui akar dan plumula yang lebih panjang. Lokus *Pup1* berpengaruh positif pada daya tembus akar dengan akar yang lebih panjang dan lebih banyak menembus lilin. Lokus *Pup1* juga menunjukkan toleran terhadap kekeringan pada tanah Ultisol dengan bobot kering akar dan tajuk lebih besar dibanding tetua tanpa lokus *Pup1*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afa, L.O., B.S. Purwoko, A. Junaidi, O. Haridjaja, dan I.S. Dewi. 2012. Pendugaan toleransi padi hibrida terhadap kekeringan dengan polyetilen glikol (PEG) 6000. *J. Agrivigor* 11(2):292-299.
- Badan Pusat Statistik. 2008. Statistik Indonesia. Jakarta: BPS. 649p.
- Chin, J.H., X. Lu, S.M. Haefele, R. Gamuyao, A.M. Ismail, M. Wissuwa, and S. Heuer. 2010. Development and application of gene-based markers for the major rice QTL *Phosphorus uptake 1*. *Theor. Appl. Genet.* 120:1073-1086.
- Chin, J.H., R. Gamuyao, C. Dalid, M. Bustamam, J. Prasetyono, S. Moeljopawiro, M. Wissuwa, and S. Heuer. 2011. Developing rice with high yield under phosphorus deficiency: *Pup1* sequence to application. *Plant Physiol.* 156:1202-1216.
- Comas, L.H., S.R. Becker, V.M.V. Cruz, P.F. Byrne, and D.A. Dierig. 2013. Root traits contributing to plant productivity under drought. *Front. Plant Sci.* 4(442):1-16.
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice Nutrient disorders and nutrient Management. IRRI. 191p.
- Gamuyao, R., J.H. Chin, J.P. Tanaka, P. Pesaresi, S. Catausan, C. Dalid, I.S. Loedin, E.M.T. Mendoza, M. Wissuwa, and S. Heuer. 2012. The protein kinase *Pstoll* from traditional rice confers tolerance of phosphorus deficiency. *Nature* 488.
- Henry, A., A.J. Cal, T.C. Batoto, R.O. Torres, and R. Seeraj. 2012. Root attributes affecting water uptake of rice (*Oryza sativa*) under drought. *J. Exp. Bot.* 63(2):695-709.
- Heuer, S., X. Lu, J.H. Chin, J.P. Tanaka, H. Kanamon, T. Matsumoto, T.D. Leon, V.J. Ulat, A.M. Ismail, M. Yano, and M. Wissuwa. 2009. Comparative sequene analysis of the mayor quantitative trait locus phosphorus uptake 1 (*Pup1*) reveal a complex genetic structure. *Plant Biotech. J.* 7:456-471.
- IRRI (International Rice Research Institute). 1996. Standard evaluation system for rice. Fourth Ed. Los Banos, Philippines. 52p.
- Ismail, A.M., S. Heuer, M.J. Thomson, and M. Wissuwa. 2007. Genetic and genomic approaches to develop rice germplasm for problem soils. *Plant Mol. Biol.* 65(4):547-570.
- Kumar, A. , S. Dixit, T. Ram, R.B. Yadaw, K.K. Mishra, and N.P. Mandal. 2014. Breeding high-yielding drought-tolerant rice: genetic vatiations and conventional and molecular approaches. *J. Exp. Bot.* 65(21): 6265-6278.
- Pandey, V. and A. Shukla. 2015. Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. *Rice Sci.* 22(4):147-161.
- Prasetyono, J. 2010. Studi efek introgresi *Pup1* (*P Uptake 1*) untuk meningkatkan toleransi padi terhadap defisiensi fosfor. Disertasi S3, Institut Pertanian Bogor, Bogor. Tidak dipublikasi.
- Prasetyono J, T. Suhartini, I.H. Soemantri, Tasliah, S. Moeljopawiro, H. Aswidinnoor, D. Sopandie, dan M. Bustaman. 2012. Evaluasi beberapa galur-*Pup1* tanaman padi (*Oryza sativa* L.) pada larutan hara dan lapangan. *J. Agron. Indonesia* 40(2):83-90.
- Suardi, D. 2000. Kajian metode skrining padi tahan kekeringan. *Bul. AgroBio* 3(2):67-73.
- Susanto, G.W.A. dan T. Sundari. 2011. Perubahan karakter agronomi aksesi plasma nutfah kedelai di lingkungan ternaungi. *J. Agron. Indonesia* 39(1):1-6.
- Tasliah, J. Prasetyono, T. Suhartini, dan I.H. Soemantri. 2015. Ketahanan galur-galur *Pup1* terhadap penyakit blas. *J. Pen. Pert. Tan. Pangan* 34(1):29-36.
- Tasliah, T. Suhartini, J. Prasetyono, I.H. Somantri, dan M. Bustamam. 2011. Respon genotipe padi gogo terhadap defisiensi P. *J. Pen. Pert. Tan. Pangan* 30(3): 172-181.
- Trijatmiko, K.R., Supriyanta, J. Prasetyono, M.J. Thomson. C.M. Vera Cruz, S. Moeljopawiro, and A. Pereira. 2014. Meta-analysis of quantitative trait loci for grain yield and component traits under reproductive-stage drought stress in an upland rice population. *Mol. Breeding* 34:283-295.
- Verslues, P.E, M. Agarwal, K.S. Agarwal, and J. Zhu. 2006. Methods and concept in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stres that affect plant water status. *Plant J.* 45:523-539.
- Wardoyo, S.H., Miftahudin, S. Moeljopawiro, dan J. Prasetyono. 2014. Konstitusi genetik dan karakter fenotipik galur-galur padi *Pup1* turunan varietas Situ Bagendit. *J. AgroBiogen* 10(2):61-68.
- Yoshida, S, D.A. Forna DA, J.H. Cock, and K.A. Gomez. 1976. Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice (3rd Ed.). IRRI, Los Banos, Philippines. 83p.