

UJI DAYA TEMBUS AKAR MENGGUNAKAN LAPISAN LILIN PADA PADI LOKAL DAN NON LOKAL DI KABUPATEN MERAUKE

(Evaluation of root penetration ability using wax petroleum jelly layers in traditional and non traditional rice in Merauke)

Nurhening Yuni Ekowati⁽¹⁾, Rosmala Widiastuti⁽¹⁾, Rogis Alang⁽³⁾

⁽¹⁾Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Musamus

⁽²⁾Mahasiswa Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Musamus
nurhening01@gmail.com

Abstrak

Padi merupakan komoditas pertanian di Indonesia. Sumber plasma nutfah padi memerlukan perhatian yang serius untuk menjaga karakter-karakter unggul padi yang tahan terhadap cekaman biotik maupun abiotik. Cekaman air merupakan faktor pembatas utama yang mempengaruhi produktivitas tanaman padi. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi ketahanan tanaman padi lokal dan non lokal di Kabupaten Merauke menggunakan uji daya tembus akar. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret – Oktober 2018 di *Screen house* Laboratorium Agroteknologi Universitas Musamus. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan lapisan lilin untuk mensimulasi tingkat kekerasan akar. Lapisan lilin dibuat dari campuran parafin dan vaselin dengan rasio 20/80, 40/60, 60/40, dan 80/20. Penelitian ini menggunakan 2 padi lokal yaitu Cempo Ireng dan Palenok, dan 2 padi varietas unggul yaitu Inpago 10 dan IR 64. Benih padi ditumbuhkan di dalam pralon PVC dengan tinggi 15 cm yang berisi media tanam berupa campuran tanah dan kompos. Pada bagian bawah pralon ditempel dengan lapisan lilin dengan tingkat kekerasan yang telah ditentukan. Tanaman disiram hingga umur 21 HST, selanjutnya dibiarkan tanpa pengairan sampai umur 45 HST. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa padi lokal Cempo Laut memiliki daya tembus akar yang paling kuat pada rasio parafin/vaselin 60/40, kemudian Inpago 10, IR 64, dan Palenok. Padi Cempo laut menunjukkan kemampuan daya tembus akar yang paling baik, serta memiliki karakter yang paling baik pada parameter jumlah dan panjang akar yang menembus lapisan lilin, jumlah total akar, berat kering akar, berat kering tajuk, serta tingkat ketebalan akar.

Kata kunci : lapisan lilin, padi lokal, daya tembus akar, cekaman kekeringan

Abstract

Rice is the most important commodity in Agriculture in Indonesia. Rice germplasm resource need more attention seriously in order to preserve superior characteristic of plant rice that are resistant to biotic and abiotic stress. Drought stress is the major factor that influences rice productivity. The aim of this research is to identify drought tolerance characteristic in traditional and non traditional rice from Merauke based on the root penetration ability. The research conducted from May to October 2018 inside the screen house of Agrotechnology Department, Faculty of Agriculture Universitas Musamus. The methods used wax petroleum jelly layer to simulate soil compaction. The research using 4 rice genotype as the sample research, it were 2 native rice genotype Cempo laut and Palenok; and non native rice genotype Inpago 10 and IR 64. The seedling planted and grown inside the PVC paralon 15 cm

AGROSAINS, ISSN 2407- 6287
, eISSN 2598- 4179
Volume 5, Nomor 2

length contain mix of soil and compost for growth medium. Wax petroleum jelly layer placed on the base of the PVC paralon with five level of wax petroleum ratio. The plant watered for 21 days and then let it grow under drought stress condition until 45 days without watering. The result showed that Cempo laut had the strongest ability to penetrate on the layer of 60/40 paraffin wax ratio then followed by Inpago 10, IR 64 and Palenok for the lower root penetration ability. Cempo laut had the best result on the number of root that able to penetrate on the wax petroleum jelly layer, root length that able to penetrate on the petroleum wax layer, root total number, root length, drought weight of root and shoot.

Keywords : wax petroleum jelly, traditional rice, root penetration, drought stress

PENDAHULUAN

Padi merupakan komoditas pertanian utama di Indonesia. Perubahan iklim global menyebabkan kekeringan yang berkepanjangan sehingga berdampak terhadap produksi padi diberbagai belahan dunia. Menurut Lanceras *et al.* (2004), kekeringan merupakan cekaman abiotik utama yang menjadi faktor pembatas produksi dan stabilitas panen padi. Kekurangan air menyebabkan tanah menjadi keras. Tanah yang keras dapat membatasi penyerapan air dan mineral sehingga dapat mempengaruhi produktivitas tanaman.

Carvalhais *et al.* (2011), menyatakan bahwa akar merupakan salah satu faktor yang menentukan produksi padi. Akar berperan dalam penyerapan air dan mineral serta mensupport pertumbuhan tanaman. Perakaran yang dalam dan mampu menembus lapisan tanah yang keras merupakan karakter penting untuk beradaptasi terhadap kekeringan, sehingga tanaman dapat menyerap air dalam lapisan tanah yang dalam (Lynch, 2013). Pada tanaman pangan khususnya padi, studi tentang akar dilakukan untuk mendapatkan varietas unggul yang mampu berproduksi tinggi pada lahan yang memiliki keterbatasan ketersediaan air. Padi yang toleran terhadap cekaman kekeringan dapat beradaptasi lebih baik dibanding yang tidak toleran. Menurut Babu *et al.* (2001), padi yang toleran terhadap cekaman kekeringan memiliki perakaran yang memiliki kemampuan dalam

menembus tanah yang keras, meningkatkan kapasitas penyerapan air, mengatur tekanan osmotik dan memiliki daun yang toleran terhadap dehidrasi. Uji daya tembus akar pada padi merupakan salah satu metode seleksi yang digunakan oleh IRRI untuk mendapatkan padi yang tahan terhadap cekaman kekeringan (Henry, 2013). Saat ini uji daya tembus akar juga banyak dilakukan untuk mengidentifikasi padi mutan yang mengandung gen ketahanan terhadap cekaman kekeringan.

Salah satu upaya untuk meningkatkan produktivitas padi adalah penggunaan varietas unggul yang tahan terhadap cekaman biotik maupun abiotik. Padi lokal memiliki kemampuan adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang lebih baik terhadap cekaman biotik maupun abiotik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sifat ketahanan padi lokal dan non lokal terhadap cekaman kekeringan di Merauke.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan bulan Mei –Oktober 2018 di Screen house Jurusan Agroteknologi Universitas Musamus. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain parafin, vaselin, Paralon PVC, tanah, kompos. Lapisan lilin dibuat dari campuran parafin dan vaselin dengan tingkat kekerasan yang berbeda yaitu 20%, 40%, 60%, dan 80% (parafin : vaselin). Campuran parafin dan lilin dipanaskan pada suhu 80°C hingga parafin meleleh sempurna. Campuran tersebut

selanjutnya di cetak menggunakan cetakan dari potongan pipa PVC ukuran diameter 10 cm. Lilin dicetak dengan ketebalan 4 mm. Kemudian lilin dibiarkan sampai kering. Lilin yang sudah dicetak dipasang pada dasar PVC dengan menggunakan kawat RAM sebagai penyangga. Pipa PVC yang digunakan sebagai tempat media tanam berukuran diameter 10 cm dan panjang 15 cm. Pipa PVC yang sudah diberi lapisan lilin diisi dengan media tanam yang berupa campuran tanah dan kompos dengan perbandingan 1:1 kemudian disiram air dan dibiarkan selama 3 hari. Padi dibersihkan dari kotoran, selanjutnya padi yang jelek dan kosong dibuang. Padi yang sudah bersih dimasukkan ke dalam air, biji yang tenggelam digunakan sebagai benih yang akan disemai. Padi direndam dalam air selama 24 jam, selanjutnya diperam selama 48 jam hingga muncul plumula dan radikula. Benih siap untuk ditanam. Setiap pot diisi dengan 3 butir padi, setelah berumur 1 minggu disisakan 1 tanaman. Tanaman disiram setiap 2 hari sekali dengan air sebanyak 200 ml per pot. Pemupukan dilakukan dengan memberikan NPK sebanyak 5 g/pot dan urea sebanyak 1 g/pot pada 14 hst. Penyiraman

dihentikan setelah 21 hst, selanjutnya tanaman dibiarkan tanpa penyiraman hingga hari ke 45. Setelah 1 minggu tanpa penyiraman, hari ke 28, bagian bawah pot pralon diberi gelas plastik yang berisi air sebanyak 200 ml. Selanjutnya diamati akar yang menembus lapisan lilin. Setelah 1 minggu air di dalam gelas plastik diganti dengan larutan hara A B mix. Pengamatan dilakukan pada hari ke 45, dan dilanjutkan dengan pengukuran parameter yang diuji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan berbagai parameter uji daya tembus akar ditampilkan pada Tabel 1. Hasil uji Anova pada tingkat signifikansi 0,05 menunjukkan bahwa genotip padi yang digunakan dalam penelitian ini mempengaruhi panjang akar yang menembus lapisan lilin, jumlah akar total dan indeks penetrasi (IP) akar. Faktor rasio lapisan lilin (parafin/vaselin) mempengaruhi secara signifikan terhadap parameter jumlah akar yang menembus lapisan lilin, panjang akar yang menembus lapisan lilin, jumlah akar total, serta indeks penetrasi akar. Interaksi antara genotip padi dan rasio lapisan lilin (parafin/vaselin) hanya berpengaruh terhadap panjang akar yang menembus lapisan lilin dan jumlah akar total.

Tabel 3. Rerata hasil pengamatan berbagai parameter uji daya tembus akar padi pada lapisan lilin

Genotip padi		JATLL	PATL	JAT	BKT	BKA	DA	IPA
Inpago	20 / 80	2,2	15,92	9,80	52,8	9,00	,29	,29
	40 / 60	1,8	12,68	10,80	53,2	12,40	,30	,19
	60 / 40	1,6	16,82	13,40	56,0	14,80	,29	,18
	80 / 20	0	0,00	8,60	60,8	11,60	,38	,00
IR 64	20 / 80	2,4	11,02	12,00	66,4	13,00	,22	,29
	40 / 60	0,6	9,24	6,20	57,2	5,60	,23	,09
	60 / 40	0	0,00	6,80	50,8	12,00	,32	,00
	80 / 20	0	0,00	9,20	66,8	9,40	,34	,00
Cempo laut	20 / 80	2,6	17,78	16,80	69,8	14,20	,40	,19
	40 / 60	1,6	12,04	11,60	58,4	12,20	,40	,16
	60 / 40	2,4	19,40	19,00	62,0	19,00	,38	,15
	80 / 20	0	0,00	14,20	39,6	15,00	,40	,00
Palenok	20 / 80	1,8	19,66	17,20	58,0	8,155	,36	,15
	40 / 60	0,8	5,40	13,20	59,2	1,924	,30	,06

	60 / 40	0,6	5,36	8,80	41,2	4,037	,30	,07
	80 / 20	0	0,00	12,60	55,8	18,953	,26	,00
Genotip padi		ns	*	*	ns	ns	ns	*
Rasio parafin / vaselin		*	*	*	ns	ns	ns	*
Interaksi genotip *								
Rasio parafin/vaselin		ns	*	*	ns	ns	ns	ns

Keterangan : JATLL: jumlah akar tembus lapisan lilin; PATL : panjang akar tembus lapisan lilin; JAT: jumlah akar total; BKT: berat kering tajuk; BKA: berat kering akar; DA: diameter/ketebalan akar; dan IP: indeks penetrasi akar

*) Signifikan pada tingkat signifikansi 0,05

ns non signifikan pada tingkat signifikansi 0,05

Tabel 4. Hasil uji korelasi berbagai parameter uji daya tembus akar padi pada lapisan lilin

	JATT	PATLL	JAT	BKT	BKA	DA	IP
JATT		0,839**	0,449**				
PATLL	0,839**		0,457**				
JAT	0,449**	0,457**		0,226*	0,573**		
BKT			0,226*				
BKA			0,573**				
DA							
IP							

Keterangan : JATLL: jumlah akar tembus lapisan lilin; PATL : panjang akar tembus lapisan lilin; JAT: jumlah akar total; BKT: berat kering tajuk; BKA: berat kering akar; DA: diameter/ketebalan akar; dan IP: indeks penetrasi akar

**) Korelasi signifikan pada tingkat signifikansi 0,01

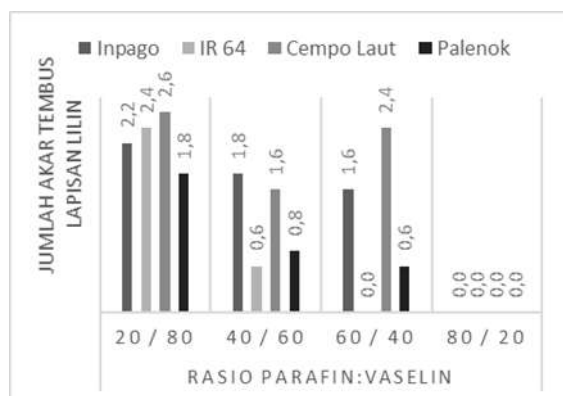
*) Korelasi signifikan pada tingkat signifikansi 0,05

Hasil uji Anova menyatakan bahwa jumlah akar yang dapat menembus lapisan lilin dipengaruhi oleh tingkat kekerasan lapisan lilin (Tabel 1). Gambar 1. menunjukkan bahwa Rasio lapisan lilin yang dapat ditembus oleh semua akar padi adalah 20/80. Cempo laut memiliki jumlah akar terbanyak yang mampu menembus lapisan lilin pada rasio lapisan lilin tersebut yaitu 14,20; selanjutnya IR 64, Inpago 10, dan urutan yang terakhir adalah Palenok. Pada lapisan lilin 40/60 (parafin:vaselin), jumlah akar yang dapat menembus lapisan lilin mulai berkurang. Lapisan lilin 60/40 (parafin:vaselin) merupakan lapisan lilin paling keras yang dapat ditembus oleh akar padi. Pada tingkat kekerasan lapisan lilin tersebut Cempo laut memiliki jumlah akar yang dapat menembus lapisan lilin yang

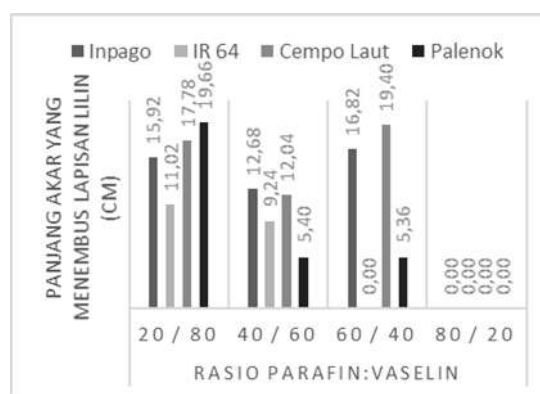
terbanyak yaitu 2,6; kemudian diikuti oleh Inpago 10 (1,6), dan Palenok(0,6). Padi IR 64 sudah tidak mampu menembus lapisan lilin pada tingkat kekerasan 60/40 (parafin/vaselin). Rasio lapisan lilin 60/40 dengan ketebalan 3 mm memiliki tingkat kekerasan 1,5-1,7 MPa pada suhu 25°C. Daya tembus akar Cempo laut lebih kuat dibanding Inpago 10 yang merupakan padi toleran cekaman kekeringan. Akar yang tebal dan memiliki daya tembus akar yang kuat merupakan salah ciri ketahanan terhadap cekaman kekeringan. Berdasarkan hasil uji korelasi kemampuan akar menembus lapisan lilin berkorelasi dengan panjang akar. Menurut Suardi (2012), akar yang mampu menembus lapisan dasar pot berupa lapisan lilin, panjangnya lebih dari 10 cm dan jumlah akarnya relatif banyak diperkirakan lebih

toleran terhadap kekeringan. Pada tingkat kekerasan 60/40 Cempo laut memiliki akar yang terpanjang (Gambar 2) yaitu 19,40 dibanding 3 genotip padi yang lain, kemudian Cempo laut (16,82), dan Palenok (5,36). Hasil penelitian Ma'sumah *et al.* (2016) terhadap beberapa mutan padi yang mengandung gen ketahanan terhadap cekaman kekeringan, mutan padi yang mengandung gen toleran kekeringan memiliki daya tembus akar yang lebih baik. Menurut Comas *et al.*, 2013), perakaran yang dalam merupakan sifat akar yang menguntungkan pada tanaman karena mampu menyerap air dari tanah yang dalam ketika kekeringan. Akar yang panjang berkorelasi positif dengan kemampuan tanaman untuk menghadapi

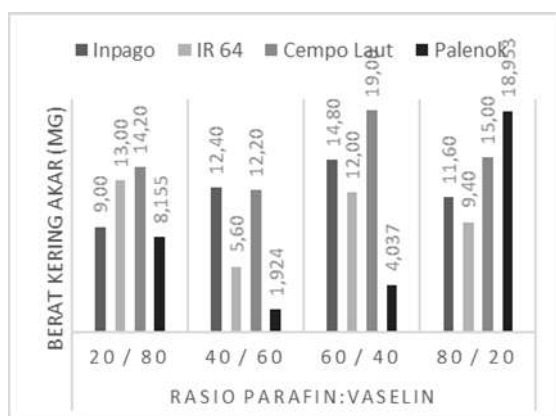
cekaman kekeringan pada kondisi di lapangan (Abdolshashi *et al.*, 2015). Pada tingkat kekerasan 80/20, semua genotip padi tidak ada yang mampu menembus tingkat kekerasan tersebut. Menurut Nhan *et al.* (2006), lapisan lilin 80% setara dengan tingkat kekerasan 4,5 Mpa. Pada tingkat kekerasan tersebut semua tanaman padi tidak mampu menembus lapisan lilin. Pada tanaman padi, ketahanan penetrasi tanah (impedansi tanah) sebesar 1,4 Mpa sudah dapat menghambat sistem perkembangan akar Cairns *et al.* (2011). Menurut O'Toole, kemampuan penetrasi dan proliferasi akar menurun drastis (>50%) pada kekerasan tanah 0,5-2,0 Mpa Babu *et al.*, 2001).



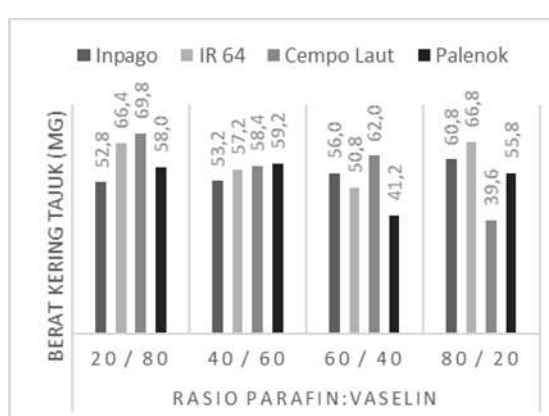
Gambar 1. Rerata jumlah akar yang menembus lapisan lilin



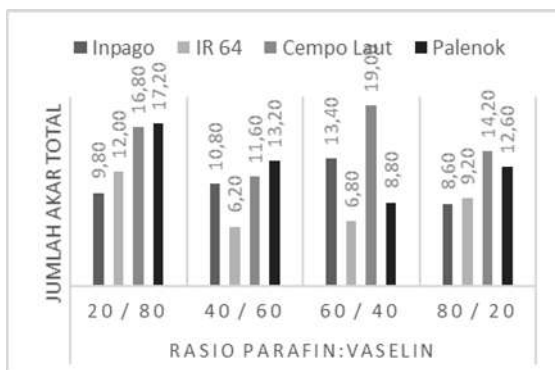
Gambar 2. Rerata panjang akar yang menembus lapisan lilin



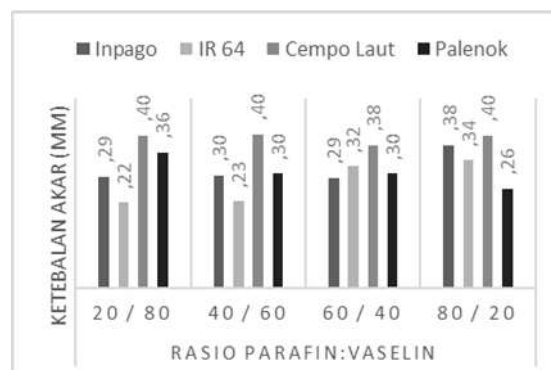
Gambar 3. Rerata berat kering akar



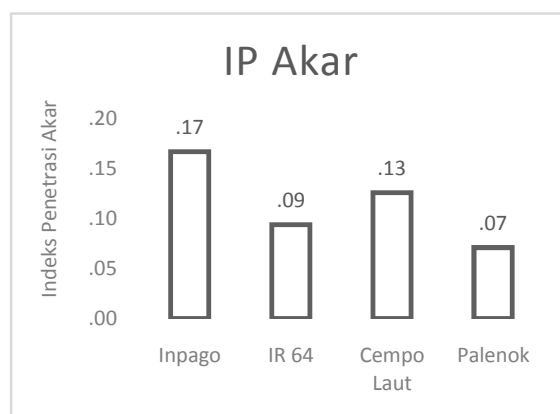
Gambar 4. Rerata berat kering tajuk



Gambar 5. Jumlah akar total



Gambar 6. Rerata ketebalan akar



Gambar 7. Rerata berat kering tajuk

Tabel 1. menunjukkan berat kering akar dan berat kering tajuk tidak dipengaruhi oleh faktor genotip padi, rasio lapisan lilin, maupun interaksi antara genotip padi dengan rasio lapisan lilin. Biomasa merupakan salah satu indikator untuk menghindari kekeringan pada padi dataran tinggi (Babu *et.al.*, 2001). Berdasarkan hasil uji korelasi, berat kering akar berkorelasi positif dengan jumlah akar total, demikian juga dengan berat kering tajuk meskipun korelasinya lemah. Jumlah akar total berhubungan dengan kemampuan untuk menyerap air yang lebih baik. Air dibutuhkan dalam penyerapan hara serta merupakan komponen penting dalam fotosintesis.

Kekurangan air pada jaringan tanaman dapat menurunkan aktivitas fotosintesis dan metabolisme yang berakibat langsung pada penurunan produksi (Comas *et al.*, 2013). Ketahanan terhadap dehidrasi memungkinkan tanaman untuk tetap survive dalam kondisi defisit air dan bertumbuh kembali saat terjadi hujan. Fukai dan Cooper menyatakan bahwa ketahanan terhadap dehidrasi memungkinkan tanaman untuk tetap menjaga aktivitas metabolismenya lebih lama dan mentranslokasi asimilat ke biji (Babu *et al.*, 2001). Hasil uji Anova menunjukkan bahwa jumlah akar total dipengaruhi oleh genotip padi, rasio lapisan lilin, dan hasil interaksi

antara genotip padi dengan rasio lapisan lilin (Tabel 1). Jumlah akar pada padi ditentukan oleh faktor genetis, sehingga setiap kultivar memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam menghasilkan akar. Jumlah akar yang banyak berguna untuk memperluas area permukaan akar sehingga mampu menyerap air lebih banyak. Kemampuan akar untuk menembus tanah yang keras berhubungan dengan kemampuan tanaman untuk membentuk akar yang tebal dan panjang dalam jumlah yang sedikit (Yu *et al.*, 1995). Akar yang panjang, luas area permukaan akar, dan volume akar merupakan karakteristik akar yang berhubungan dengan kemampuan akar dalam penyerapan air dan nutrisi dari dalam tanah (Gowda *et al.*, 2011). Menurut Babu *et al.*, (2001), kemampuan tanaman padi untuk mengatur tekanan osmotik dan toleran terhadap dehidrasi berkaitan dengan jumlah akar yang sedikit. Nguyen menyatakan bahwa kemampuan mengatur cekaman osmotik pada tanaman dapat menunda pengguguran daun, kematian jaringan, dan menunda pengguguran daun (Nguyen *et al.*, 1999 dalam Babu *et al.*, 2001).

Pada rasio 80/20 (parafin:vaselin), semua genotip padi mampu tumbuh dengan baik. Padi IR 64 dan Palenok yang memiliki daya tembus akar yang rendah dan tidak mampu menembus lapisan lilin dengan tingkat kekerasan 80/20, namun memiliki berat kering akar dan tajuk yang lebih besar dibanding Cempo laut. Kemungkinan padi IR 64 dan Cempo laut mampu bertahan lebih lama dalam kondisi kekurangan air, sedangkan padi Cempo laut beradaptasi dengan memiliki daya tembus akar dan menghasilkan akar yang panjang untuk beradaptasi terhadap kondisi kekurangan air. Sebagian tanaman beradaptasi terhadap cekaman kekeringan dengan cara menghindari dari cekaman kekeringan. Strategi ini dilakukan dengan mengekstrak air dari lapisan tanah yang dalam dengan membentuk sistem perakaran yang dalam (Yue *et al.*, 2006, Gowda *et al.*, 2012). Sebagian tanaman yang lain memiliki toleransi terhadap cekaman kekeringan (*drought tolerance*). Strategi adaptasi ini dilakukan dengan cara menjaga kadar air jaringan dalam kondisi

ketersediaan air yang sangat terbatas (Guimaraes *et al.*, 2015).

Berdasarkan hasil uji Anova, perbedaan ketebalan akar tidak dipengaruhi oleh faktor tingkat kekerasan lapisan lilin maupun genotipe padi. Gambar 6. menunjukkan bahwa padi Cempo laut memiliki ketebalan akar yang paling tinggi dibanding 4 genotip padi yang lain. Pada tingkat rasio 60/40 (parafin:vaselin) ketebalan akar berkurang pada padi Cempo laut, Inpago 10, dan IR 64, sedangkan pada Palenok justru mengalami kenaikan. Pada tingkat kekerasan lilin 80/20, semua genotip padi tidak dapat menembus lapisan lilin, namun ketebalan akarnya meningkat. Dalam penelitian ini pada kondisi kekeringan padi beradaptasi dengan cara meningkatkan ketebalan akarnya. Ketebalan akar kemungkinan berhubungan dengan upaya tanaman untuk meningkatkan kapasitas penyerapan air oleh akar. Menurut Nhan *et al.* (2006), respon akar terhadap tingkat kekerasan lilin cenderung akan meningkatkan diameter akar, diameter akar berhubungan dengan *Root Penetration Ability* (RPA). Diameter akar dapat mempengaruhi sifat biomekanik dan kemampuan akar untuk menembus lapisan tanah yang keras (Chimungu *et al.*, 2015). Menurut Yu *et al.* (1995), ketebalan akar merupakan karakteristik yang penting pada tanaman yang resisten terhadap cekaman kekeringan, dan berkaitan dengan kemampuan penetrasi akar ke dalam tanah. Yoshida dan Hasegawa (1982) dalam Yu *et al.* (1995), padi yang tumbuh pada daerah yang kering dan kurang air memiliki akar yang tebal dan sistem perakaran yang dalam.

Indeks penetrasi akar menggambarkan kemampuan akar untuk menembus lapisan lilin. Penentuan Indeks Penetrasi akar ditentukan berdasarkan jumlah akar yang menembus lapisan lilin dibagi jumlah akar yang tidak menembus lapisan lilin. Gambar 7. menunjukkan bahwa padi Inpago memiliki IP paling tinggi dibanding genotip padi yang lain, sedangkan Cempo laut menempati urutan kedua. Pada parameter-parameter yang lain, Inpago 10 menempati urutan kedua setelah Inpago. Hal ini kemungkinan karena padi Inpago 10 merupakan varietas unggul

yang memiliki tingkat keseragaman dan kualitas benih yang lebih baik dibanding padi Cempo laut yang merupakan varietas lokal non budidaya. Padi Cempo laut tidak memerlukan perawatan dan pemeliharaan dalam masa pertumbuhannya, sehingga kemungkinan keseragaman dan kualitas benihnya lebih rendah. Menurut Babu *et al.* (2001), jumlah akar yang mampu menembus lapisan lilin dan ketebalan akar berkorelasi positif dengan Indeks penetrasi akar, sedangkan jumlah akar total tidak berhubungan dengan Indeks penetrasi akar.

KESIMPULAN

Padi lokal Cempo laut menunjukkan karakter ketahanan terhadap cekaman kekeringan yang lebih baik dari padi Inpago 10 pada hampir semua parameter antara lain jumlah akar yang menembus lapisan lilin, panjang akar yang menembus lapisan lilin, berat kering tajuk, berat kering akar dan ketebalan akar namun memiliki indeks penetrasi akar yang lebih rendah dari padi Inpago 10.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh DRPM Kemenristek-dikti tahun anggaran 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Babu, R.C., Shashidar, H.E., Lilley, J.M., Thanh, N.D., Ray, J.D., Sadasivam, S., Sarkarung, S., O'Toole, J.C., and Mguen, H.T. 2001. *Variation in root penetration ability, osmotic adjustment and dehydration tolerance among accessions of rice adapted to rainfed lowland and upland ecosystems*. Plant Breeding. 120: 233-238
- Cairns, J.E., Impa, S.M., O'Toole, J.C., Jagadish, S.V.K., and Price, A.H. 2011. *Review : Influence of the soil psysical environment on rice (Oryza sativa L.) response to drought stress and its implications for drought research*. Field Crops Research. 121. pp: 303-310
- Carvalhais, L.C., Dennis, P.G., Fedoseyenko, D., Hajirezaei, M.R., Borriss, R., Von Wirén, N., 2011. *Root exudation of sugars, amino acids, and organic acids by maize as affected by nitrogen, phosphorus, potassium, and iron deficiency*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 174: 3–11
- Chimungu, J.G., Loades, K.W., Lynch, J.P. 2015. *Root anatomical phenes predict root penetration ability and biochemical properties in maize (Zea mays)*. Journal of Experimental Botany. Volume 66. No 11 : 3151-3162
- 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*. Frontier in Plant Science. 4(442):1-16
- Gouda, P.K., C.M.K Varma, S. Saikumar, B. Kiran, Vshenov, H.E. Sashidhar. 2012. *Direct selection for grain yield under moisture stress in Oryza sativa cv. IR58025B x O. meridionalis population*. Crop science. 52:644-653
- Gowda, V.R.P., Henry, A., Yamauchi, A., Shashidhar, H.E., Serraj, R., 2011. *Root biology and genetic improvement for drought avoidance in rice*. Field Crops Research. 122: 1– 13
- Guimarães, C.M., L.F. Stone, A.P de Castro, O.P. de Morais Junior. 2015. *Physiological parameters to select upland rice genotypes for tolerance to water deficit*. Pesq Agropec Bras. 50 : 534-540
- Henry, A. 2013. *Review : IRRI's drought stress research in rice with emphasis on roots: accomplishments over the last 50 years*. Plant Root. 7: 92-106.
- Lanceras, J.C. G. Pantuwan, B Jongdee, T Toojinda. 2004. *Quantitative trait loci associated with drought tolerance at reproductive stage in rice*. Plant Physiology. 135 : 384-399
- Lynch, J.P. 2013. *Steep, cheap and deep: An idiotype to optimize water and N acquisition by mayze root systems*. Annals of Botany. 112: 347-357
- Nhan, D.Q. Thaw, S., Matsuo, A., Xuan, T.D., Hong, N.H., Mochizuki, T. 2006. *Evaluation of root penetration ability in rice using the wax-layers and the soil cake methods*. Journal of the Faculty of Agriculture. 51(2): 251-256

- O'Toole, J.C. 1982. *Adaptation of rice to drought prone environment*. In : Babu, R.C., Shashidar, H.E., Lilley, J.M., Thanh, N.D., Ray, J.D., Sadasivam, S., Sarkarung, S., O'Toole, J.C., and Mguyen, H.T. 2001. *Variation in root penetration ability, osmotic adjustment and dehydration tolerance among accessions of rice adapted to rainfed lowland and upland ecosystems*. *Plant Breeding*.120: 233-238
- Yu, B., W Xue, L Xiong, X Yu, L Luo, K. Chui, D. Jin, Y Xing, Q Zhang. 2006. Genetic basis of drought resistance at reproductive stage in rice: separation of drought tolerance from drought avoidance. *Journal of Genetics*. 172: 1213-1228
- Yu, L.X., J.D. Ray, J.C. O'Toole, and H.T. Nguyen. Use of wax petrolatum layers for screening rice root penetration. In. Babu, R.C., Shashidar, H.E., Lilley, J.M., Thanh, N.D., Ray, J.D., Sadasivam, S., Sarkarung, S., O'Toole, J.C., and Mguyen, H.T. 2001. *Variation in root penetration ability, osmotic adjustment and dehydration tolerance among accessions of rice adapted to rainfed lowland and upland ecosystems*. *Plant Breeding*.120: 233-238