

# MORFOLOGI DAN ANATOMI SISTEM PERAKARAN PADI TOLERAN KEKERINGAN PADA SISTEM SAWAH

## MORFOLOGY AND ANATOMY ROOT SYSTEM OF DROUGHT TOLERANT RICE IN A PADDY SYSTEM

Maisura<sup>1</sup>, Muhamad Achmad Chozin<sup>2</sup>, Iskandar Lubis<sup>2</sup>, Ahmad Junaedi<sup>2</sup>, Hiroshi Ehara<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Study Program of Agroecotechnology, Faculty of Agriculture, Malikussaleh University, Jln. Cot Tengku Nie Reuleut, Aceh Utara, Indonesia

<sup>2</sup>Department of Agronomy and Horticulture, Faculty of Agriculture, Bogor Agricultural University, Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga 16680, Indonesia

<sup>3</sup>Graduate School of Bioresources, Mie University, 1577 Kurimanchiya-cho, Tsu 514-8507, Japan

\*Email: maisuraali@gmail.com

### ABSTRAK

Penelitian bertujuan untuk mengetahui morfologi dan anatomi sistem perakaran padi toleran kekeringan pada sistem sawah. Percobaan dilaksanakan di rumah plastik Lapangan Riset Padi Babakan, University Farm IPB, Bogor. Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan split plot tiga ulangan, dengan petak utama cekaman kekeringan yang terdiri dari cekaman kekeringan saat 3 Minggu Setelah Tanam (3 MST) sampai berumur 7 MST dan kontrol, sedangkan sebagai anak petak varietas padi yang terdiri 8 varietas yaitu IR 64, Ciherang, IPB 3S, Way Apo Buru, Jatiluhur, Menthik Wangi, Silugonggo dan Rokan. Hasil percobaan memperlihatkan cekaman kekeringan menghambat perkembangan akar, menurunnya total bobot akar, meningkatnya kedalaman capaian akar dan ketebalan akar. Penurunan total bobot kering akar yang paling kecil akibat cekaman kekeringan terdapat pada varietas IPB 3S dan Jatiluhur (berturut-turut 12.41% dan 36.41%). Peningkatan kedalaman capaian akar tertinggi terdapat pada varietas Way Apo Buru (46.05 cm) yang diikuti varietas IPB 3S (37.05 cm). Cekaman kekeringan menyebabkan terjadinya peningkatan ketebalan akar pada varietas Way Apo Buru (695.57  $\mu\text{m}$ ) dan diikuti varietas Ciherang (652.76  $\mu\text{m}$ ). Indeks toleransi kekeringan berkorelasi positif dengan total bobot kering akar dan kandungan air daun relatif, serta berkorelasi negatif dengan rasio tajuk akar. Varietas yang memiliki total bobot kering akar yang lebih tinggi dapat mempertahankan kandungan air daun relatif tetap tinggi serta mengurangi kerapatan stomata pada kondisi cekaman kekeringan. Total bobot kering akar yang tinggi, kedalaman capaian akar, ketebalan akar, kandungan air daun relatif yang tinggi dan kerapatan stomata yang rendah selama cekaman kekeringan dapat dijadikan sebagai kriteria seleksi sifat morfologi dan anatomi akar terhadap varietas yang toleran kekeringan.

Key Words : cekaman kekeringan, rootbox, sebaran akar, varietas padi, bobot akar

### ABSTRACT

The objective of this research is to identify the morphology and anatomy of the root of rice that tolerance to drought stress. This research was done in the Rice Research Field, University Farm IPB, Bogor ( $\pm 240$  m ASL). The research used a split plot design with three replications with drought stress as the main plots and variety as the subplots. The main plot consisting of drought stress at 3 Weeks After Transplanting (3 WAT) until the age of 7 WAT, and control (K0), whereas the subplot consisted of rice varieties namely IR 64, Ciherang, IPB 3S, Way Apo Buru, Jatiluhur, Menthik Wangi, Silugonggo and Rokan. The results showed that drought stress inhibits root development, decreased total root weight, root depth of achievement. Decrease in total dry weight of the roots is less due to drought stress on the Jatiluhur and IPB 3S varieties (12.41%, 36.41% respectively). The highest increasing in root depth achieved by Way Apo Buru (46.05 cm) followed by IPB 3S (37.05 cm) varieties. Drought tolerance index was positively correlated with total root dry weight and relative leaf water content, and negatively correlated with the shoot root ratio. Total root dry weight, root depth, shoot root ratio during drought stress can be used as selection criteria for drought tolerant varieties.

Keywords: drought stress, rootbox, root distribution, variety of paddy, root of weight

## 1. PENDAHULUAN

Dampak perubahan iklim yang paling serius adalah dampak El nino yang mengakibatkan meningkatnya luas areal lahan sawah yang kekeringan. Meningkatnya lahan-lahan sawah yang mengalami kekeringan menyebabkan ketidakstabilan hasil. Salah satu teknologi alternatif dalam upaya meningkatkan produksi padi di lahan sawah yang sering mengalami kekeringan adalah melalui pengembangan varietas yang toleran terhadap cekaman kekeringan. Menurut Tardieu (1997) ada dua pendekatan utama yang sering digunakan untuk melihat kemampuan tanaman dalam menghadapi cekaman kekeringan. Pendekatan pertama adalah dengan melihat kemampuan pengambilan air secara maksimal dengan perluasan dan kedalaman sistem perakaran. Pendekatan kedua dengan melihat kemampuan tanaman mempertahankan turgor melalui penurunan potensial osmotik, mengingat tekanan turgor mutlak diperlukan bagi jaringan untuk menjaga tingkat aktivitas fisiologi.

Kekeringan merupakan stress abiotik utama yang mempengaruhi 20 persen total pertumbuhan padi di Asia (Pandey dan Bhandari 2008). Akar merupakan organ tanaman yang berfungsi untuk menyerap hara dan air. Pengetahuan mengenai interaksi antara fungsi akar dan kekeringan sangatlah penting karena sangat berhubungan dengan produksi padi yang berdampak terhadap keamanan pangan global. Tanaman menggunakan mekanisme yang berbeda dalam melindungi dirinya dari cekaman kekeringan melalui *drought escape*, *drought avoidance*, *drought tolerance* dan *drought recovery* (O'Toole 1982). Dari keempat mekanisme tersebut, *drought avoidance* adalah cara yang mungkin dilakukan untuk resisten terhadap kekeringan melalui peran akar.

Karakter perakaran baik secara morfologi maupun anatomi menjadi penting pada kondisi kekeringan dimana kemampuan akar untuk menembus tanah yang padat untuk meningkatkan ekstraksi

air pada zona yang lebih dalam, penyesuaian osmotik (*osmotic adjustment*), dan toleransi *dehidrasi* daun tanaman. Sistem perakaran yang dalam, kasar dan memiliki kemampuan yang tinggi dalam membentuk percabangan akar dan penetrasi, tingginya rasio akar tajuk, adalah komponen dari sifat perakaran yang penting yang berhubungan dengan *drought avoidance* (Yamauchi dkk, 1996; Samson dkk, 2002). Akar berperan penting dalam adaptasi khususnya untuk kondisi kekeringan. Salah satu bentuk adaptasi akar terhadap kekeringan adalah dengan pemanjangan dan perluasan akar (Fukai dan Cooper 1995; Serraj dkk, 2004) yang meliputi ketebalan akar serta peningkatan densitas akar (Siopongco dkk. 2005) yang merupakan hasil dari plastisitas dalam perkembangan akar lateral (Komoshita dkk. 2000; Sing dkk, 2000).

Sebaliknya pada kondisi tergenang akar padi memiliki kemampuan untuk membentuk sel-sel aerenchym. Hal ini menjadi penting tidak hanya untuk adaptasi terhadap defisiensi oksigen tetapi juga untuk menjaga perpanjangan akar dan juga untuk menjaga kondisi kehilangan air yang sering terjadi secara progresif. Meningkatnya sel-sel aerenchym dapat memfasilitasi difusi oksigen ke akar pada saat kondisi  $O_2$  rendah (Suralta dan Yamauchi 2008).

Sistem perakaran padi sawah memiliki keunikan terhadap respon morfologi dan fisiologi terhadap kekeringan, karena biasanya beradaptasi pada kondisi tergenang. Karakter akar padi yang memfasilitasi pertumbuhan pada kondisi tergenang yang dapat mempengaruhi respon padi terhadap kekeringan, namun karakteristik akar pada kondisi cekaman kekeringan pada sistem sawah secara struktural dan fungsional pada sistem sawah belum banyak diketahui. Hal tersebut mendasari penelitian yang berkaitan dengan akar untuk memahami mekanisme tanaman terhadap cekaman kekeringan terutama berkaitan dengan sistem perakaran pada sistem sawah. Perbedaan sistem perakaran padi gogo dan

padi sawah menurut adalah disamping terjadinya perbedaan status air pada sistem budidaya, juga terjadi perbedaan pertumbuhan akar serta adaptasi terhadap kekeringan (Gowda dkk. 2011)

Karakter akar yang meliputi panjang akar (kedalaman capaian akar), bobot akar dan ketebalan akar serta distribusi akar pada kedalaman tanah adalah penting untuk menjaga potensial air daun tetap tinggi dan untuk menjaga evapotranspirasi pada kondisi kekurangan air (Peng dan Ismail 2004). Berdasarkan analisis korelasi memperlihatkan Indeks toleransi kekeringan berdasarkan daya hasil berkorelasi positif dengan total bobot akar, kandungan air daun relatif. Semakin besar total bobot akar maka akan mampu menjaga kandungan air daun relatif tetap tinggi (Maisura dkk. 2015). Karakter pertumbuhan akar merupakan karakter konstitutif sehingga dapat digunakan sebagai kriteria seleksi (Blum, 1981).

Penelitian bertujuan untuk mengetahui morfologi dan anatomi sistem perakaran padi toleran kekeringan pada sistem sawah.

## 2. MATERIAL DAN METODE

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis ragam memperlihatkan perlakuan cekaman kekeringan, varietas dan interaksi berpengaruh nyata terhadap total bobot kering akar, rasio tajuk akar, kedalaman

Penelitian ini dilaksanakan di rumah plastik Lapangan Riset Padi Babakan, University Farm IPB Bogor. Varietas padi yang digunakan dalam penelitian ini adalah padi Varietas IR 64, Ciherang, IPB 3S, Way Apo Buru, Jatiluhur, Menthik Wangi, Silugonggo dan Rokan, pupuk NPK dan insektisida. Alat-alat yang digunakan antara lain kontainer plastik berukuran panjang 67 cm, lebar 47 cm dan kedalaman 42 cm, gembor, penggaris, gelas ukur, oven, timbangan analitik, mikroskop dan rootbox. Rootbox yang digunakan diadopsi dari penelitian Kano dkk (2011) dan telah dimodifikasi.

Penelitian ini menggunakan rancangan split plot tiga ulangan, dengan petak utama cekaman kekeringan yang terdiri dari penghentian pemberian air pada saat tanaman berumur 3 MST (Minggu Setelah Tanam), dan kontrol (penggenangan selama 7 MST). Sedangkan sebagai anak petak varietas padi yang terdiri 8 varietas yaitu IR 64, Ciherang, IPB 3S, Way Apo Buru, Jatiluhur, Menthik Wangi, Silugonggo dan Rokan. Seluruh data pengamatan percobaan dianalisis menggunakan analisis ragam pada taraf uji  $\alpha = 0.05$  dan analisis lanjut menggunakan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

capaian akar dan ketebalan akar. Sedangkan kandungan air relatif daun dan kerapatan stomata hanya dipengaruhi oleh faktor cekaman kekeringan dan interaksi. Total bobot kering akar dan rasio tajuk akar dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Pengaruh cekaman kekeringan dan varietas terhadap total bobot kering akar dan rasio tajuk akar

Varietas	Total bobot kering akar (g)			Rasio tajuk akar		
	Kontrol	Cekaman kekeringan	Penurunan relatif (%)	Kontrol	Cekaman kekeringan	Penurunan relatif (%)
IR 64	12.16 c	4.98 g	59.05	1.47 fg	4.12 a	64.13
Ciherang	12.83 c	2.63 h	79.50	1.62 efg	2.872 b	43.28
IPB 3S	5.32 fg	4.66 g	12.41	2.34 bcd	2.076 cde	12.72
Way Apo Buru	15.53 b	3.19 h	79.46	1.33 gh	2.818 b	52.70

Jatiluhur	10.19 d	6.48 f	36.41	1.87 def	2.361 bcd	20.75
Menthik Wangi	8.01 e	2.6 h	67.54	1.44 fg	2.403 bc	39.70
Silugonggo	10.64 d	3.23 h	69.64	2.59 b	1.787 efg	45.22
Rokan	27.39 a	5.05 g	81.56	0.95 h	2.67 b	64.16

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada masing-masing peubah tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada  $\alpha = 0.05$ .

Akibat cekaman kekeringan menyebabkan terjadinya penurunan total bobot kering akar mencapai 12.41-81.56%. Varietas IPB 3S dan Jatiluhur memperlihatkan penurunan bobot akar yang lebih kecil (12.31% dan 36.41%). Hal ini menunjukkan varietas IPB 3S dan Jatiluhur memiliki kemampuan untuk meningkatkan bobot akar pada bagian yang lebih dalam atau perluasan akar baik secara vertikal maupun secara horizontal untuk menjangkau air pada lapisan tanah yang lebih dalam. Salah satu bentuk adaptasi akar terhadap kekeringan adalah dengan pemanjangan dan perluasan akar. Pemanjangan dan perluasan akar berimplikasi terhadap total bobot akar yang akan mempengaruhi keseimbangan pertumbuhan tajuk dan akar. Persentase peningkatan rasio tajuk akar tertinggi terdapat pada varietas Rokan dan IR 64 akibat perlakuan cekaman kekeringan. Hal ini menunjukkan cekaman kekeringan yang terjadi pada varietas IR 64 dan Rokan menyebabkan meningkatnya pertumbuhan bagian atas tanaman (tajuk) dan sebaliknya pertumbuhan akar lebih terhambat,

sehingga menyebabkan nilai rasio tajuk akar menjadi lebih tinggi.

Perlakuan cekaman kekeringan yang diberikan juga menyebabkan terjadinya perubahan pada distribusi perakaran terutama terhadap kemampuan akar untuk meningkatkan kedalaman capaian akar. Varietas Jatiluhur memiliki kedalaman capaian akar yang lebih dalam dibandingkan varietas lainnya, diikuti Way Apo Buru dan Mentihik Wangi. Kedalaman capaian akar tiap varietas menggambarkan kemampuan untuk menjangkau air pada lapisan yang lebih dalam dengan cara memperpanjang akar yang merupakan mekanisme tanaman dalam menghadapi cekaman kekeringan. Kedalaman capaian akar berimplikasi terhadap kandungan air daun relatif. Varietas IR 64 yang memiliki kedalaman capaian akar yang paling pendek, sehingga sangat membatasi kemampuan untuk menyerap air pada lapisan tanah yang lebih dalam ketika terjadi cekaman kekeringan, sehingga menyebabkan rendahnya kandungan air daun relatif (Tabel 2)

**Tabel 2.** Pengaruh cekaman kekeringan dan varietas terhadap kedalaman capaian akar dan kadar air daun relatif.

Varietas	Kedalaman capaian akar (cm)		Kadar air daun relatif (%)	
	Kontrol	Cekaman kekeringan	Kontrol	Cekaman kekeringan
IR 64	35.40 e-g	33.53 fg	100.00 a	48.14 c
Ciherang	39.27 c-e	37.50 d-f	100.00 a	72.22 b
IPB 3S	30.53 g	37.05 d-f	86.66 ab	72.70 b
Way Apo Buru	36.93 d-f	46.05 ab	88.89 ab	83.33 ab

Jatiluhur	43.87 a-c	47.20 a	93.33 ab	88.88 ab
Menthik Wangi	40.75 b-e	42.07 a-d	86.66 ab	72.22 b
Silugonggo	35.73 ef	37.37 d-f	91.66 ab	83.33 ab
Rokan	41.10 b-e	40.20 c-e	93.33 ab	71.11 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada masing-masing peubah tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada  $\alpha = 0.05$ .

Kemampuan mempertahankan kadar air relatif daun tetap tinggi merupakan salah satu mekanisme tanaman dalam menghindari cekaman kekeringan, yaitu dengan cara meningkatkan penyerapan air pada kedalaman tanah yang lebih dalam, atau dengan cara mengurangi kerapatan stomata. Varietas IR 64 memperlihatkan perlakuan cekaman kekeringan menyebabkan terjadinya penurunan kadar air daun relatif yang sangat nyata. Hal ini diduga varietas IR 64 memiliki sistem perakaran yang dangkal dan memiliki kedalaman capaian akar yang paling pendek, sehingga kemampuan menyerap air

pada lapisan tanah yang lebih dalam menjadi terhambat (Tabel 2).

Penurunan kerapatan stomata dan meningkatnya ketebalan akar selama terjadi cekaman kekeringan merupakan mekanisme tanaman dalam menghadapi cekaman kekeringan. Varietas IPB 3S pada perlakuan cekaman kekeringan memiliki kerapatan stomata terendah dan diikuti varietas Jatiluhur dan Way Apo Buru. Hal ini menunjukkan adanya mekanisme adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan dengan cara mengurangi jumlah stomata (Tabel 3).

**Tabel 3.** Pengaruh cekaman kekeringan dan varietas terhadap kerapatan stomata dan ketebalan akar

Varietas	Kerapatan stomata (mm/bidang pandang)		Ketebalan akar ( $\mu\text{m}$ )	
	Kontrol	Cekaman kekeringan	Kontrol	Cekaman kekeringan
	IR 64	416 ab	249 ef	660.68 b
Ciherang	395 bcd	263 ef	515.33 c	652.76 b
IPB 3S	497 a	69 g	635.93 b	517.08 c
Way Apo Buru	397 bcd	222 ef	469.31 c	695.57 ab
Jatiluhur	390 bcd	203 f	704.38 ab	502.00 c
Menthik Wangi	445 ab	300 def	769.44 a	693.54 ab
Silugonggo	373 bcd	239 ef	686.57 ab	484.53 c
Rokan	404 abc	309 ef	645.91 b	772.28 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada masing-masing peubah tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada  $\alpha = 0.05$ .

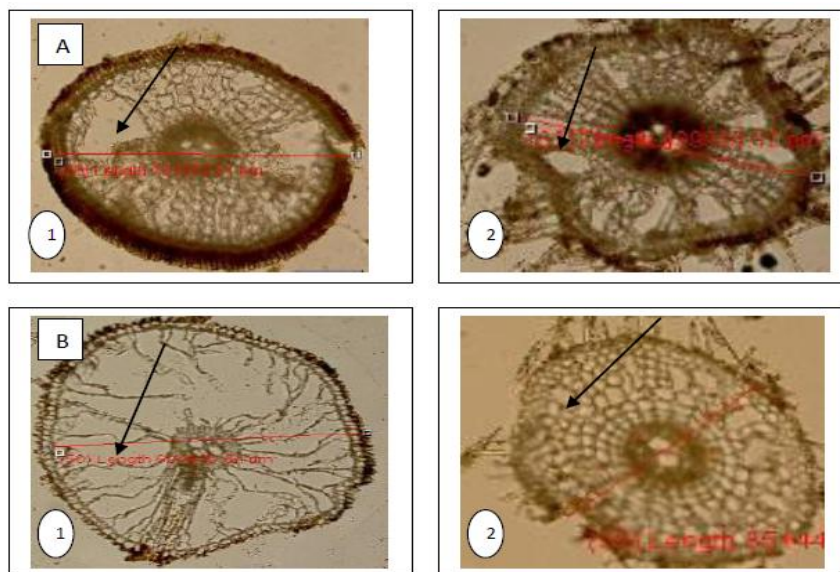
Hasil penelitian ini menunjukkan perbedaan respon dari tiap varietas akibat cekaman kekeringan terhadap karakter

anatomi akar. Perbedaan anatomi akar pada kondisi cekaman kekeringan dan kondisi penggenangan (kontrol) pada varietas Jatiluhur dan varietas IR 64 (Gambar 1). Perakaran padi yang mengalami

penggenangan selama 7 minggu memperlihatkan lebih banyak sel-sel aerenchyma dan ruang udara yang terbentuk dibandingkan dengan perlakuan kekeringan. Daya tanggap tanaman terhadap cekaman secara umum, termasuk penggenangan dapat dicirikan dengan peningkatan kadar etilen. Hormon etilen tersebut merangsang pembentukan jaringan aerenchyma dan pemunculan akar-akar dan tunas baru sebagai mekanisme adaptasi padi terhadap genangan (Sairam dkk, 2008). Hal ini dapat dilihat pada varietas toleran dan peka keduanya

memperlihatkan terbentuknya sel-sel aerenchyma pada perlakuan kontrol (penggenangan) yang lebih banyak.

Karakter morfologi dan anatomi perakaran memberikan peranan yang sangat penting dalam menghadapi kondisi cekaman kekeringan. Penelitian dengan menggunakan rootbox untuk menguji respon cekaman kekeringan terhadap sistem perakaran padi toleran. Akar merupakan parameter kriteria seleksi penting untuk tanaman toleran kekeringan (Breshegello dkk. 2008).



**Gambar1.** Sel-sel aerenchyma pada varietas Jatiluhur (A) dan varietas IR 64 (B) pada perlakuan penggenangan (kontrol) (1) dan kekeringan (2)

Varietas Jatiluhur dan IPB 3S menunjukkan penurunan total bobot akar yang paling kecil akibat cekaman kekeringan, sebaliknya varietas Rokan menunjukkan penurunan total bobot akar yang lebih besar akibat cekaman kekeringan mencapai 81.56%. Asch dkk. (2005) melaporkan varietas-varietas yang relatif toleran akan meningkatkan pertumbuhan akar yang lebih besar pada kondisi cekaman kekeringan. Varietas Jatiluhur, Ciherang dan Way Apo Buru juga menunjukkan karakter yang konsisten pada sistem perakaran, namun memiliki mekanisme penghindaran (*avoidance*) yang berbeda terhadap cekaman kekeringan. Varietas-varietas yang diuji menunjukkan respon yang berbeda dalam menghadapi

cekaman kekeringan baik terhadap karakter morfologi maupun anatomi perakaran.

Karakter akar merupakan salah satu faktor yang menentukan toleransi suatu tanaman terhadap cekaman kekeringan. Ketika terjadi cekaman kekeringan mekanisme toleransi terhadap cekaman kekeringan yang mungkin dikembangkan oleh sistem perakaran yaitu dengan meningkatkan kedalaman akar dan meningkatkan ketebalan akar (Haque dkk. 1989). Kedalaman capaian akar meningkat pada varietas IPB 3S dan Way Apo Buru ketika terjadi cekaman kekeringan, sedangkan ketebalan akar meningkat ketika terjadi cekaman kekeringan pada varietas Ciherang dan Way Apo Buru. Hal ini

menunjukkan adanya perbedaan mekanisme toleransi dalam menghadapi cekaman kekeringan dari ketiga varietas toleran tersebut.

Varietas Way Apo Buru selain mengembangkan mekanisme toleransi melalui peningkatan ketebalan akar juga meningkatkan kedalaman capaian akar. Hal ini mengindikasikan varietas-varietas tersebut mengembangkan mekanisme penghindaran (*drought avoidance*) selama terjadi cekaman kekeringan. Hasil penelitian yang sama yang dilakukan oleh Mostajeren dan Rahimi (2008) pada kultivar Zyande-Rood setelah 2 bulan perlakuan kekeringan menyebabkan meningkatnya ketebalan akar. Dan juga terjadinya penebalan endodermis dan exodermis pada tanaman jagung yang mengalami cekaman kekeringan (Sharp dan Davies 1985). Mitra (2001) menyatakan bahwa sering kali tanaman menggunakan lebih dari satu mekanisme untuk toleran kekeringan, oleh karena itu varietas toleran (Jatiluhur, Ciherang dan Way Apo Buru) mampu menghasilkan gabah yang lebih tinggi pada kondisi kekeringan yang parah dibandingkan varietas yang lain. Karakter akar yang meliputi panjang akar (kedalaman capaian akar), bobot akar dan ketebalan akar serta distribusi akar pada kedalaman tanah adalah penting untuk menjaga potensial air daun tetap tinggi dan untuk menjaga evapotranspirasi pada kondisi kekurangan air (Peng dan Ismail 2004).

Adaptasi terhadap cekaman abiotik khususnya cekaman kekeringan merupakan hasil interaksi dari berbagai karakter morfologi, fisiologi dan biokimia. Menurut Sopandie (2006) penggunaan satu karakter sebagai karakter seleksi sering kali tidak memberikan hasil yang memuaskan, sehingga penggunaan sejumlah kriteria seleksi secara simultan dalam suatu indeks seleksi dapat digunakan.

Berdasarkan hasil penelitian karakter sistem perakaran yang dapat dijadikan sebagai penanda karakter toleran kekeringan yaitu memiliki bobot akar yang tinggi, kedalaman capaian akar yang lebih

dalam dan meningkatnya ketebalan akar selama cekaman kekeringan merupakan karakter-karakter yang berperan penting dalam toleransi terhadap cekaman kekeringan pada sistem sawah.

#### 4. KESIMPULAN

1. Cekaman kekeringan menyebabkan terjadinya perubahan terhadap morfologi dan anatomi akar yaitu menurunnya total bobot akar, kerapatan stomata, meningkatnya kedalaman capaian akar dan ketebalan akar.
2. Varietas toleran (Jatiluhur, Ciherang dan Way Apo Buru) menunjukkan mekanisme penghindaran terhadap cekaman kekeringan dengan cara yang berbeda : varietas Jatiluhur melalui peningkatan total bobot akar, Varietas Ciherang melalui peningkatan ketebalan akar, sedangkan Varietas Way Apo Buru melalui peningkatan kedalaman capaian akar dan ketebalan akar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Asch F, Dingkuhn M, Sowc A, Audebert A. 2005. *Drought-induced changes in rooting patterns and assimilate partitioning between root and shoot in upland rice*. Field Crops Res. 93, 223-236.
- Blum A, Ebercon A. 1981. *Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat*. Crop Sci. 21, 43-47.
- Breseghele, F.; Guimarães, C.M.; Pinheiro, B.S. 2008. Recent efforts to improve drought resistance of rice in Brazil. p. 113-122. In: Serraj, R.; Bennett, J.; Hardy, B., eds. *Drought frontiers in rice: crop improvement for increased rainfed production*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Fukai S, Cooper M, 1995. *Review Development of drought-resistant Kultivars using physiomorphological traits in rice*. Field Crops Res. 40, 67-86.
- Gowda VRV, Henry BA, Yamauchi A, Shashidhar HE, Serraj RA. 2011. *Root biology and genetic improvement for drought avoidance in rice*. Field Crops Res. 122, 1-13.
- Haque ME, Chang TT, Tepora N, Loresto GC 1989 *Root characters as selection indices for drought resistance in rice*. Philipp. J. Crop Sci. 14: 7-9.

- Kano, M., Inukai, Y., Kitano, H. and Yamauchi, A. 2011. Root Plasticity as the key root trait for adaptation to various intensities of drought stress water stresses in rice. *Plant Soil*. 342, 117-128.
- Komoshita A, Zhang, Siopongco JX, Sarkarung J, Nguyen S, Wade LJ. 2002. *Effects of phenotyping environment on identification of quantitative trait loci for rice root morphology under anaerobic conditions*. *Crop Sci*. 42, 255-265.
- Maisura, M.A. Chozin, I. Lubis, A. Junaedi, H. Ehara. 2015. *Root Character of Drought Tolerant Rice in Lowland Sistem*. The 1<sup>st</sup> Al Muslim International Conference on Science, Technology and Society. Bireuen, Aceh. Proceeding ISSN 2477-1899.
- Mitra, J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Curr. Sci*. 80: 758-762.
- O' Toole JC. 1982. Adaptation of rice to drought environment. In : Drought resistant in crops with emphasis in rice. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, pp. 195-213.
- Pandey S, Bhandari H. 2008. Drought: economic costs and research implications. In: Serraj R, Bennett J, Hardy B. (Eds.), *Drought Frontiers in Rice: Crop Improvement for Increased Rainfed Production*. World Scientific Publishing and Los Banos (Philippines): International Rice Research Institute.
- Peng S dan Ismail AM. 2004. Physiological basis of yield and environmental adaptation in rice. In Nguyen HT and blum A (eds). *Physiology and biotechnology integration for plant breeding*. Marcel dekker, Inc. New York.
- Serraj R, Krishnamurthy L, Kashiwagi JW, Kumar J, Chandra S, Crouch JH. 2004. *Variation in root traits of chickpea (Cicer arietinum L.) grown under terminal drought*. *Field Crops Res*. 88, 115-127.
- Sharp, r. e., and Davies, W. J. 1985. Root growth and water uptake by maize plants in drying soil. *Journal of Ex- perimental Botany*, Oxford, v. 36, p. 1441-1456.
- Singh RK, Singh CV, Sinha PK, Singh VP, Maiti D, Prasad K. 2000. *Effect of soil texture, moisture regimes and cultivars on root and shoot development in upland rice (Oryza sativa L.)*. *Agric Sci*. 70, 730-735.
- Siopongco JDLC, Yamauchi A, Salekdeh H, Bennett J, Wade LJ. 2005. *Root growth and water extraction response of double-haploid rice lines to drought and rewatering during the vegetative stage*. *Plant Prod Sci*. 8, 497-508.
- Sopandie D. 2006. Perspektif fisiologi dalam pengembangan tanaman pangan di lahan kering. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Fisiologi Tanaman. Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Suralta RR, Yamauchi A. 2008. *Root growth, aerenchyma development, and oxygen transport in rice genotypes subjected to drought and waterlogging*. *Env and Exp Bot*. 64, 75-82.
- Tardieu F. 1997. Drought perception by plant, do cells of droughted plant experience water stress? In Belhassen (ed). *Drought tolerance in higher plant. Genetical, physiological and molecular biology analysis*. Kluwer Academic Publisher. Dordrech. pp. 15-26.
- Yamauchi Y, Pardales JR, Kono Y. 1996. Root system structure and its relation to stress tolerance. In: Ito et al. (Eds.), *Roots and Nitrogen in Cropping Systems of the Semi-Arid Tropics*. JIRCAS Publication, Tsukuba, Japan.