

Evaluasi Plasma Nutfah Padi Gogo Berdasarkan Karakter Kuantitatif Perakaran Tanaman (Evaluation of Upland Rice Germplasm Based on Quantitative Characters of Plant Root)

Yusi N. Andarini*, Higa Afza, Lina Herlina, dan Sutoro

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian, Jl. Tentara Pelajar 3A, Bogor 16111, Indonesia
Telp. (0251) 8337975; Faks. (0251) 8338820

*E-mail: andarini.yusi@gmail.com

Diajukan: 5 Januari 2017; Direvisi: 2 Maret 2017; Diterima: 28 April 2017

ABSTRACT

Generally, upland rice productivity is lower than irrigated rice due to physical characteristic, water land limitation, and rooting characteristic. Upland rice variety which could be adaptive towards marginal land environment can be achieved through plant breeding. This study aimed to evaluate rooting system of upland rice germplasm through its rooting ability to penetrate into hard coating and to measure rooting which expected to related with its adaptability towards dry environment and soil density. This study was implemented in ICABIOGRAD's glass house, Bogor during July–August 2015. A hundred of local varieties of germplasm seeds originated from North Sumatra, South Sumatra, North Sulawesi, Jambi, Central Kalimantan, East Kalimantan, NTT, Central Java, East Java, West Java, DIY, and Banten provinces were planted inside pot with basic materials were coated with mix combination of 60% paraffin and 40% vaseline which equal with 12 bars of strength. The results showed grouping of 100 variety upland rice germplasms could be divided based on variety with unsimilar characteristic with others variety, which were Si Gambiri Etek from North Sumatra, Cikapudeng variety from Banten, and Ketan Kasumba B variety from Banten. Germplasm with the best rooting characteristic (roots weight and high root canopy ratio) can be used as genetic resources for plant breeding program.

Keywords: upland rice, rooting penetration, germplasm.

ABSTRAK

Produktivitas padi gogo umumnya lebih rendah dibanding dengan padi sawah disebabkan oleh sifat fisik dan terbatasnya air dalam tanah serta karakteristik perakaran tanaman. Varietas padi gogo yang adaptif pada lingkungan lahan marginal dapat diperoleh melalui pemuliaan tanaman. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi sistem perakaran plasma nutfah padi gogo melalui kemampuan perakarannya menembus lapisan keras dan untuk mengukur perakaran yang diduga berkaitan dengan adaptabilitasnya terhadap lingkungan kekeringan dan kepadatan tanah. Penelitian dilakukan di rumah kaca BB Biogen Bogor pada bulan Juli–Agustus 2015. Benih plasma nutfah 100 aksesori (varietas lokal) yang berasal dari provinsi Sumatra Utara, Sumatra Selatan, Sulawesi Utara, Jambi, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, NTT, Jawa Tengah, Jawa Timur, Jawa Barat, DIY, dan Banten ditanam pada pot dengan bagian dasar dilapisi dengan kombinasi campuran 60% parafin dan 40% vaselin yang setara dengan kekerasan 12 bar. Hasil penelitian menunjukkan pengelompokan plasma nutfah 100 varietas padi gogo dapat dikelompokkan berdasarkan varietas yang karakteristiknya jauh berbeda dengan yang lain, yaitu varietas Si Gambiri Etek asal Sumatra Utara, varietas Cikapudeng asal Banten, dan varietas Ketan Kasumba B asal Banten. Plasma nutfah yang memiliki karakteristik perakaran baik (bobot akar dan rasio akar tajuk yang tinggi) dapat digunakan sebagai tetua dalam program pemuliaan tanaman.

Kata kunci: padi gogo, penetrasi akar, plasma nutfah.

PENDAHULUAN

Produksi beras nasional di Indonesia dihasilkan dari budi daya padi di lahan sawah irigasi, sawah tadah hujan, dan lahan kering. Produktivitas padi di lahan kering yang sering disebut padi ladang atau padi gogo pada umumnya lebih rendah dibanding dengan padi sawah. Rendahnya hasil padi gogo disebabkan oleh sifat fisik atau tekstur tanah dan terbatasnya air yang tersedia dalam tanah, serta karakteristik perakaran tanaman padi yang dibudidayakan. Kendala-kendala tersebut mengakibatkan absorpsi hara yang ada di dalam tanah tidak dapat memenuhi kebutuhan optimal tanaman padi.

Peningkatan produksi tanaman pada lahan kering dapat diatasi melalui teknik pengelolaan lahan yang menghasilkan lingkungan pertumbuhan optimum, seperti pengolahan tanah, pemberian bahan organik, dan mulsa (Kato et al. 2007) serta penggunaan varietas yang sesuai. Varietas unggul yang sesuai pada lahan kering harus memiliki karakter yang dapat beradaptasi pada lingkungan lahan kering seperti toleran terhadap kekeringan. Karakter perakaran tanaman dikendalikan oleh banyak gen (Abd Allah 2009; Courtois et al. 2009; Srividhya et al. 2011; Uga et al. 2013). Karakter tanaman yang adaptif terhadap kekeringan di antaranya sistem perakaran tanaman yang baik, misalnya memiliki distribusi yang mengumpul pada bagian lapisan olah tanah serta memiliki kemampuan penetrasi yang lebih dalam (Comas et al. 2013; Folkard et al. 2005; Suralta 2010). Kemampuan penetrasi akar pada lapisan tanah yang lebih dalam menjadikan tanaman dapat menyerap air dan hara pada lapisan yang lebih dalam.

Varietas unggul tanaman padi gogo yang adaptif pada lingkungan lahan marginal (kekeringan dan hara rendah) dapat diperoleh melalui pemuliaan tanaman. Program pemuliaan tanaman memerlukan sumber gen yang membawa sifat adaptif pada lahan marginal terutama plasma nutfah padi gogo yang berasal dari berbagai daerah yang telah beradaptasi dengan lingkungannya.

Sumber gen untuk pemuliaan tanaman dapat diperoleh dari plasma nutfah yang telah dikoleksi dan dikonservasi. Karakteristik plasma nutfah yang

telah dikoleksi perlu diketahui melalui kegiatan evaluasi plasma nutfah. Pengelompokan plasma nutfah dapat ditentukan menurut kemiripannya, sehingga dapat digunakan sebagai dasar pemilihan tetua dalam program pemuliaan tanaman. Pengelompokan plasma nutfah padi liar berdasarkan karakter kuantitatif tanaman telah dihasilkan (Suhartini & Sutoro 2007). Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi perakaran plasma nutfah tanaman padi gogo melalui kemampuannya menembus lapisan keras, sebagai bentuk simulasi untuk mengukur perakaran yang berkaitan dengan adaptabilitasnya terhadap lingkungan kekeringan dan kepadatan tanah.

BAHAN DAN METODE

Percobaan evaluasi daya penetrasi akar telah dilaksanakan dengan menanam plasma nutfah padi gogo di rumah kaca BB Biogen Bogor pada bulan Juli–Agustus 2015. Daya penetrasi akar tanaman dievaluasi melalui kemampuan akar menembus lapisan campuran lilin/parafin dan vaselin yang telah digunakan oleh beberapa peneliti untuk mengevaluasi tanaman toleran kekeringan (Acuna & Wade 2005; Babu et al., 2001; Ray et al. 1996).

Benih plasma nutfah sebanyak 100 aksesi (varietas lokal) yang berasal dari Provinsi Sumatra Utara, Sumatra Selatan, Sulawesi Utara, Jambi, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, Nusa Tenggara Timur (NTT), Jawa Tengah, Jawa Timur, Jawa Barat, DI Yogyakarta (DIY), dan Banten ditanam pada pot yang bagian dasarnya dilapisi dengan kombinasi campuran 60% parafin dan 40% vaselin dengan ketebalan 4 mm yang setara dengan kekerasan 12 bar (Suardi 2002). Kombinasi campuran parafin dan vaselin ini digunakan dan dikembangkan oleh *International Rice Research Institute* (IRRI) dalam skrining daya tembus akar untuk menunjang penelitian marka molekuler tahan kekeringan padi (Suardi 2000). Ukuran pot memiliki tinggi sekitar 12 cm dan diameter 5 cm (gelas plastik ukuran 250 cc). Setiap aksesi ditanam 3 pot, waktu penetrasi akar diamati setiap hari selama 4 minggu, sedangkan jumlah dan panjang maksimum akar, bobot kering akar dan batang serta tinggi tanaman diamati saat tanaman berumur 4 minggu.

Jumlah akar diamati dengan menghitung akar yang menembus lapisan lilin, panjang akar diukur dari ujung hingga pangkal akar yang menembus lapisan lilin dengan penggaris. Bobot kering akar dan batang diukur dengan menimbang akar dan batang yang sudah dioven.

Gambaran umum data karakter plasma nutfah yang telah diamati dianalisis melalui statistik deskriptif mencakup nilai rerata, nilai minimum, maksimum, dan koefisien keragaman dari setiap karakter yang diamati. Pengelompokan plasma nutfah padi yang diuji dilaksanakan melalui analisis kluster, dengan menggunakan peubah komponen utama yang merupakan kombinasi linier dari peubah karakter tanaman yang diamati. Analisis kluster yang digunakan untuk pengelompokan adalah metode *average linkage* (pautan rata-rata) dengan jarak Euclidus. Jarak Euclidus antarpeubah harus bersifat bebas (ortogonal) dengan menggunakan peubah komponen utama yang saling ortogonal (Morrison 1978). Pengelompokan antarvarietas dari analisis kluster menggunakan kemiripan 75%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Karakter Perakaran Plasma Nutfah Padi Gogo

Hasil analisis statistik deskriptif yang mencakup nilai minimum, maksimum, rerata, dan koefisien keragaman (KK) disajikan pada Tabel 1. Hasil analisis keragaman menunjukkan terdapat perbedaan karakter perakaran di antara varietas yang diuji. Hal yang sama diperoleh Babu et al. (2001) yang mengamati penetrasi akar tanaman padi yang melewati lapisan lilin + vaselin. Berdasarkan nilai KK, peubah karakter yang memiliki variasi cukup besar, yaitu jumlah akar tembus dan panjang akar, sekitar 50–60%, sedangkan yang relatif rendah, yaitu karakter umur

penetrasi akar dan bobot batang. Karakter akar yang belum atau tidak muncul pada umur 4 minggu dimiliki oleh varietas Superwin dari Sulawesi Utara; Jala dari Kalimantan Tengah; Jawa Wakai dan Padai Bala dari Kalimantan Timur; Rumbu A, Semendang, dan Sonder dari Kalimantan Tengah; Ketan Super dan Ketan Hideung dari Banten; Pandan Wangi dari DIY; Ketan Putih dari Jawa Timur; dan Ketan Wadas dari Jawa Barat. Perakaran yang paling cepat tembus, yaitu pada umur 8 hari setelah tanam terdapat 8 varietas, yaitu Pudat A1, Segreng A, Segreng B, dan Marus A2 yang berasal dari Jawa Tengah; Nake Mita dari NTT; Cikapundeng dari Banten; Padi Ner dari Jawa Barat; dan Ketan Hitam B dari Jawa Timur.

Panjang akar terpendek dihasilkan oleh varietas Padai Telangosan dari Kalimantan Timur dan Mean Sukabi dari NTT, yaitu sebesar 0,5 cm, sedangkan yang terpanjang, yaitu aksesori Kemala Watar dari NTT sebesar 32 cm. Bobot akar terkecil dihasilkan oleh varietas Padai Telangosan dari Kalimantan Timur, yaitu 0,05 g, sedangkan bobot akar terbesar dihasilkan oleh varietas Ketan Kasumba B dan Cikapundeng dari Banten, yaitu 0,69 g. Bobot batang terkecil dihasilkan oleh varietas Padai Telangosan dari Kalimantan Timur sebesar 0,2 g, sedangkan bobot batang terbesar dihasilkan oleh varietas Lokal A2 dari Jawa Tengah sebesar 1,08 g. Tanaman padi yang toleran kekeringan memiliki sistem perakaran yang dalam dan panjang sehingga dapat mengekstraksi air tanah yang lebih dalam pada lahan kering (Fukai & Cooper 1995). Bobot akar dan tajuk tanaman padi yang tinggi, terutama yang memiliki perakaran dalam dapat dijadikan sebagai kriteria seleksi dalam pemuliaan padi untuk menghasilkan varietas yang efisien dalam penggunaan pupuk N (Ganapathy et al. 2010; Ju et al. 2015). Gen *DEEPER ROOTING 1 (DRO1)* mengendalikan perakaran padi yang tumbuh ke arah bawah terlibat

Tabel 1. Hasil analisis deskriptif beberapa peubah penting.

Peubah	Jumlah akar tembus	Umur penetrasi akar	Panjang akar	Bobot batang	Bobot batang akar	Rasio
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,14	0,03	0,18
Maksimum	14,00	19,00	26,67	1,04	0,44	0,80
Rerata	5,07	11,95	9,42	0,68	0,17	0,26
Standar deviasi	2,73	3,41	5,77	0,17	0,05	0,07
Koefisien keragaman	53,82	28,49	61,24	25,01	30,86	27,01

dalam perpanjangan sel pada ujung akar, yang menghasilkan perakaran yang lebih dalam untuk menghindari kekeringan.

Rasio akar tajuk merupakan perbandingan antara bobot akar dengan bobot batang tanaman. Rasio akar tajuk menunjukkan indikator efisiensi serapan hara dan adaptabilitas terhadap cekaman kekeringan. Menurut (Sinaga 2008), menurunnya ketersediaan air justru akan meningkatkan nisbah tajuk : akar. Kekeringan menyebabkan berkurangnya proporsi asimilat yang menuju ke akar. Alokasi asimilat lebih besar ditujukan ke tajuk, dengan demikian nisbah tajuk : akar menjadi meningkat akibat menurunnya ketersediaan air. Hasil analisis rasio akar tajuk menunjukkan nilai minimum 0,18 dan nilai maksimum 0,80. Rasio akar tajuk terendah dimiliki oleh varietas Ketan Hitam dari Jawa Timur dan tertinggi dimiliki oleh varietas Cipapundeng dari Banten, varietas ini diduga toleran kekeringan dan efisien serapan hara.

Korelasi yang nyata terjadi antara variabel jumlah akar tembus dengan panjang akar, jumlah akar tembus dengan bobot batang, jumlah akar tembus dengan bobot akar (Tabel 2). Umur penetrasi akar tidak nyata berkorelasi dengan panjang akar, bobot akar, dan rasio akar tajuk. Bobot dan panjang akar serta rasio akar tajuk berkaitan dengan sifat ketahanan terhadap kekeringan (Abd Allah 2010; Srividhya 2011).

Tabel 2. Koefisien korelasi antarpeubah.

Peubah	Jumlah akar tembus	Umur penetrasi akar (hari)	Panjang akar (cm)	Bobot batang (g)	Bobot akar (g)
Umur penetrasi akar	0,026				
Panjang akar	0,686*	-0,090			
Bobot batang	0,568*	0,200	0,487*		
Bobot akar	0,623*	0,096	0,428*	0,718*	
Rasio	0,128	-0,050	0,023	-0,190	0,496*

*Nyata pada taraf uji 1%.

Analisis Komponen Utama

Analisis komponen utama telah dilakukan untuk menghasilkan peubah baru yang merupakan kombinasi linier dari 6 karakter perakaran tanaman. Analisis komponen utama dimaksudkan untuk mereduksi jumlah peubah yang akan dianalisis dengan tidak menghilangkan informasi data peubah asal. Dari hasil analisis komponen utama menunjukkan bahwa komponen utama pertama dapat menerangkan keragaman karakter yang diamati sebanyak 46,6% (Tabel 3). Komponen utama kedua menerangkan 20,9% dan yang ketiga menerangkan 17,9%. Jumlah peubah komponen utama yang digunakan untuk analisis lanjutan dapat dipertimbangkan bila telah dapat menerangkan total keragaman lebih dari 75% (Morrison 1978). Pada penelitian ini 3 peubah komponen utama dapat menerangkan total keragaman sebesar 85,4%. Oleh karena itu, 3 peubah komponen utama akan digunakan dalam pengelompokan melalui analisis kluster.

Kontribusi peubah akar terhadap peubah komponen utama bervariasi. Dari besaran koefisien komponen utama pertama menunjukkan bahwa kontribusi karakter jumlah akar tembus, panjang akar tembus, bobot akar dan batang menunjukkan nilai yang cukup besar dibanding dengan karakter yang lain. Dengan demikian, komponen utama per-

Tabel 3. Koefisien komponen utama peubah perakaran tanaman.

Variabel	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Jumlah akar tembus	0,517	-0,024	-0,154	0,321	0,774	-0,084
Umur penetrasi akar	0,063	-0,308	0,845	0,428	-0,057	0,037
Panjang akar	0,451	-0,104	-0,384	0,53	-0,594	0,065
Bobot batang	0,486	-0,355	0,11	-0,516	-0,163	-0,577
Bobot akar	0,521	0,271	0,22	-0,384	-0,063	0,675
Rasio	0,133	0,833	0,235	0,139	-0,122	-0,446
<i>Eigenvalue</i>	0,2798	1,2541	1,0734	0,5648	0,2816	0,0279
Proporsi	0,466	0,209	0,179	0,094	0,047	0,005
Kumulatif	0,466	0,675	0,854	0,948	0,995	1,000

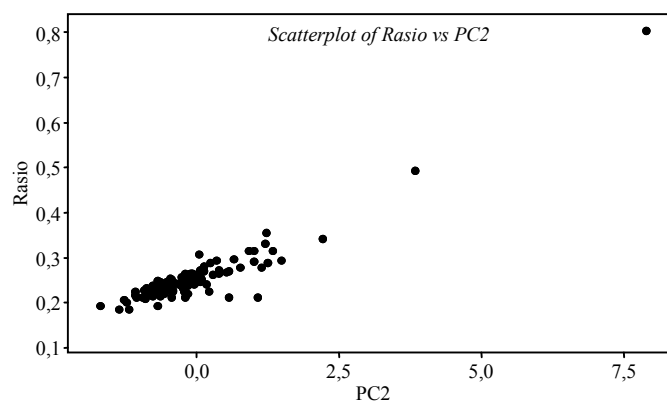
tama ini dapat disebut sebagai karakter fisik akar tanaman. Komponen utama kedua karakteristik akar yang paling besar kontribusinya adalah rasio akar tajuk tanaman. Untuk komponen utama ketiga karakter yang paling besar kontribusinya adalah umur penetrasi akar. Hubungan antara peubah rasio akar-tajuk dengan peubah komponen utama kedua dan peubah umur tembus akar dengan peubah komponen utama ketiga disajikan pada Gambar 1 dan 2. Gambar 1 menunjukkan bahwa peubah rasio akar tajuk semakin besar akan diikuti oleh nilai skor komponen utama kedua. Kecepatan kemampuan penetrasi akar menembus lapisan campuran lilin parafin juga berhubungan dengan komponen utama ketiga, semakin lama akar menembus lapisan maka nilai skor komponen utama ketiga semakin besar.

Analisis Kluster

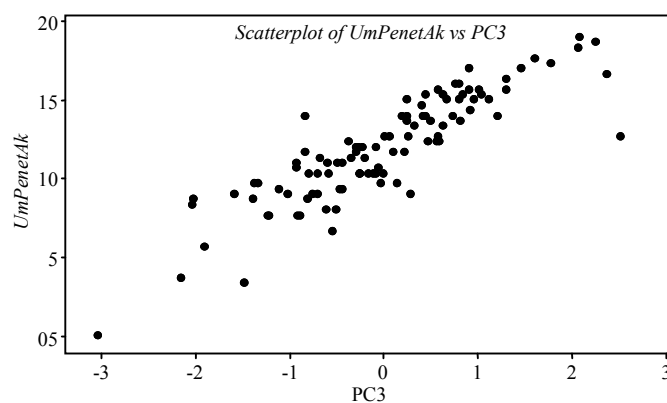
Analisis kluster karakteristik perakaran tanaman dilakukan dengan menggunakan 3 variabel

komponen utama. Penggunaan peubah komponen utama dilakukan karena penentuan jarak antar-kluster dilakukan dengan cara Euclides. Jarak Euclides menghendaki adanya sifat keortogonalan atau tidak berkorelasi antarvariabel. Variabel komponen utama merupakan variabel yang saling ortogonal (Morrison 1978). Hasil analisis kluster ditunjukkan dalam bentuk dendrogram yang disajikan pada Gambar 3.

Berdasarkan pengelompokan dengan kemiripan 75% maka diperoleh 6 kluster, masing-masing terdiri atas 1 varietas dalam kluster 1, 81 varietas dalam kluster 2, 4 varietas dalam kluster 3, 1 varietas dalam kluster 4, 12 varietas dalam kluster 5, dan 1 varietas dalam kluster 6. Tabel sebaran varietas menurut asal plasma nutfah padi gogo dan kluster disajikan pada Tabel 4. Dari plasma nutfah padi gogo yang dievaluasi tampak bahwa kluster 2 mencakup seluruh provinsi asal plasma nutfah yang dievaluasi. Pada kluster 1 dan 6 hanya terdiri atas 1 varietas. Dalam 1 kluster dapat berasal dari



Gambar 1. Diagram titik hubungan antara peubah rasio akar-tajuk dengan PC2.



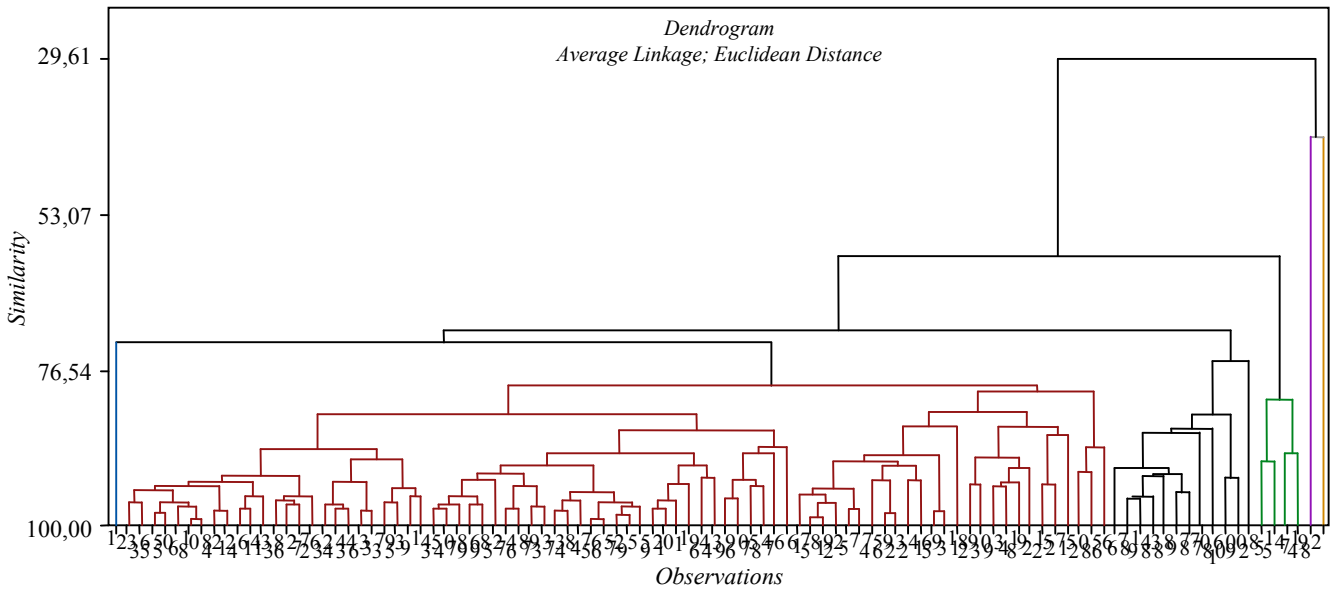
Gambar 2. Diagram titik hubungan peubah umur tembus akar dengan PC3.

berbagai provinsi diduga karena terjadinya mobilitas plasma nutfah dari daerah satu ke daerah yang lain yang kemudian beradaptasi cukup lama pada daerah tersebut.

Diagram titik kluster yang menunjukkan hubungan antara komponen utama pertama (PC1) dengan komponen utama kedua (PC2) secara visual disajikan pada Gambar 4. Dari gambar tersebut tampak bahwa kluster 4 dan 6 yang masing-masing hanya terdiri atas 1 aksesii tampak terpisah jauh. Varietas 4 adalah varietas Nurdin II yang berasal dari Sulawesi Utara dan varietas kluster 6 adalah varietas Superwin yang berasal dari

Sulawesi Utara. Gambar 4 juga menunjukkan bahwa varietas pada kluster 2 terletak antara $-2,5 < PC1 < 2,5$ dan $-1,0 < PC2 < 2,5$.

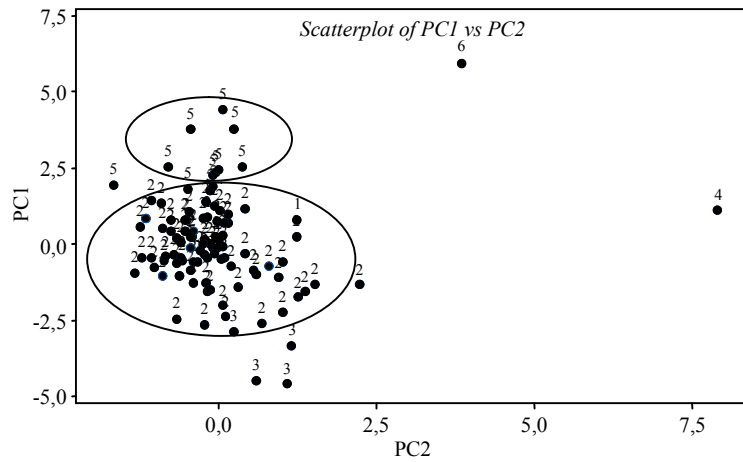
Seperti pada diagram titik yang menyatakan hubungan PC1 dan PC2, diagram titik hubungan antara PC1 dan PC3 menunjukkan bahwa kluster 2 tampak mengumpul di tengah diagram, sedangkan kluster 5 dimiliki oleh varietas-varietas yang memiliki nilai komponen utama PC1 lebih dari 2,0 dan kluster 3 dengan komponen utama PC1 $< -2,5$ (Gambar 5). Gambar 6 menunjukkan bahwa kluster 4 dan 6 tampak terpisah dari kluster lainnya. Diagram titik kluster yang lain tampak saling



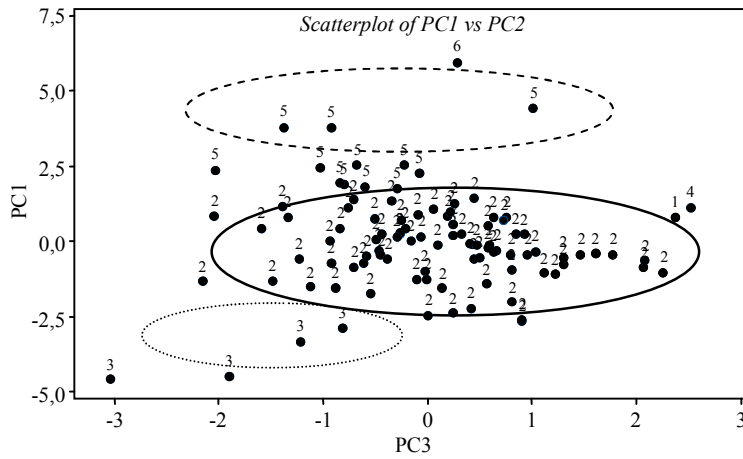
Gambar 3. Penentuan jumlah kluster berdasarkan kemiripan sebesar 75% dihasilkan 6 kluster.

Tabel 4. Sebaran varietas menurut asal plasma nutfah padi gogo dan kluster.

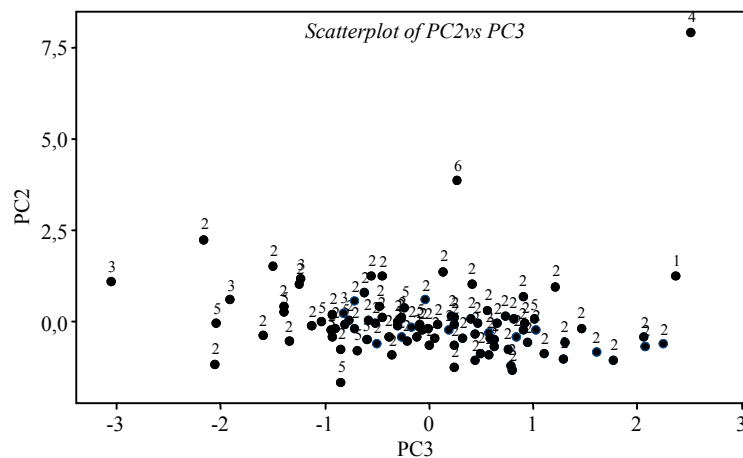
Provinsi	Kluster						Jumlah
	1	2	3	4	5	6	
1	1	1	0	0	0	0	2
2	0	1	0	0	0	0	1
3	0	1	0	0	0	0	1
4	0	5	0	0	0	0	5
5	0	10	1	0	0	0	11
6	0	11	0	0	0	0	11
7	0	19	0	0	5	0	24
8	0	2	1	0	1	0	4
9	0	6	0	0	2	0	8
10	0	4	0	0	4	0	8
11	0	7	2	1	0	1	11
12	0	14	0	0	0	0	14
Jumlah	1	81	4	1	12	1	100



Gambar 4. Diagram titik hubungan PC1 dan PC2 plasma nutfah padi gogo.



Gambar 5. Diagram titik hubungan PC1 dan PC3 plasma nutfah padi gogo.



Gambar 6. Diagram titik hubungan PC2 dan PC3 plasma nutfah padi gogo.

tumpang tindih dalam suatu wilayah yang sama. Hal ini terjadi karena komponen utama kedua

(PC2) menjelaskan keragaman data sebesar 20% dan komponen utama ketiga (PC3) sebesar 18%.

KESIMPULAN

Variasi karakter perakaran di antara plasma nutfah padi gogo yang cukup besar adalah jumlah akar tembus dan panjang akar.

Pengelompokan plasma nutfah 100 varietas padi gogo diperoleh varietas yang karakteristiknya jauh berbeda dengan yang lain, yaitu varietas Si Gambiri Etek dari Sumatra Utara; Cikapundeng dari Banten; dan Ketan Kasumba asal Banten. Varietas-varietas tersebut diduga memiliki alel yang mengendalikan karakter perakaran yang jarang dimiliki oleh plasma nutfah padi gogo.

Evaluasi dalam penelitian ini masih menguji sebagian kecil dari plasma nutfah padi gogo yang ada, oleh karena itu diperlukan evaluasi terhadap plasma nutfah yang lain, baik dari daerah lain dan atau varietas yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd Allah, A.A. (2009) Genetic studies on leaf rolling and some root traits under drought conditions in rice (*Oryza sativa* L.). *African Journal of Biotechnology*, 8 (22), 6241–6248.
- Abd Allah, A.A. (2010) Screening rice genotypes for drought resistance in Egypt. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 2 (7), 205–215.
- Acuna, T.L.B. & Wade, L.J. (2005) Root penetration ability of wheat through thin wax-layers under drought and well-watered conditions. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56 (11), 1235–1244.
- Babu, R.C., Shashidhar, H.E., Lilley, J.M., Thanh, N.D., Ray, J.D., Sadasivam, S., Sarkarung, S., Toole, J.C. & Nguyen, 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 (3), 233–238.
- Comas, L.H., Becker, S.R., Cruz, V.M.V., Byrne, P.F. & Dierig, D.A. (2013) Root traits contributing to plant productivity under drought. *Frontiers in Plant Science*, 4 (442), 1–16.
- Courtois, B., Ahmadi, N., Khowaja, F., Price, A.H., Rami, J.F., Frouin, J., Hamelin, C. & Ruiz, M. (2009) Rice root genetic architecture: Meta-analysis from a drought QTL database. *Rice*, 2, 115–128.
- Folkard, A., Dingkuhn, M., Sow, A. & Audebert, A. (2005) Drought-induced changes in rooting patterns and assimilate partitioning between root and shoot in upland rice. *Field Crops Research*, 93, 223–236.
- Fukai, S. & Cooper, M. (1995) Development of drought-resistant cultivars using physiomorphological traits in rice. *Field Crops Research*, 40 (2), 67–86.
- Ganapathy, S., Ganesh, S.K., Shanmugasundaram, P. & Babu, R.C. (2010) Studies on root traits for drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) under controlled (PVC pipes) condition. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 1 (4), 1016–1020.
- Ju, C., Buresh, R.J., Wang, Z., Zhang, H., Liu, L., Yang, J. & Zang, J. (2015) Root and shoot traits for rice varieties with higher grain yield and higher nitrogen use efficiency at lower nitrogen rates application. *Field Crops Research*, 175, 47–55.
- Kato, Y., Kamoshita K., Jun A. & Junko Y. (2007) Improvement of rice (*Oryza sativa* L.) growth in upland conditions with deep tillage and mulch. *Soil and Tillage Research*, 92 (1–2), 30–44.
- Morrison, F.D. (1978) *Multivariate statistical methods*. Singapore, Mc Graw Hill.
- Ray, J.D., Yu, L., McCouch, S.R., Champoux, M.C., Wang, G. & Nguyen, H.T. (1996) Mapping quantitative trait loci associated with root penetration ability in rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 92, 627–636.
- Sinaga, R. (2008) Keterkaitan nisbah tajuk akar dan efisiensi penggunaan air pada rumput gajah dan rumput raja akibat penurunan ketersediaan air tanah. *Jurnal Biologi Sumatera*, 3 (1), 29–35.
- Srividhya, A., Vemireddy, L.R., Ramanarao, P.V., Sridhar, S., Jayaprada, M., Anuradha, G., Srilakshmi, B., Reddy, H.K., Hariprasad, A.S. & Siddiq, E.A. (2011) Molecular mapping of QTLs for drought related traits at seedling stage under PEG induced stress conditions in rice. *American Journal of Plant Sciences*, 2, 190–201.
- Suardi, D. (2000) Kajian metode skrining padi tahan kekeringan. *Buletin AgroBio*, 3 (2), 67–73.
- Suardi, D. (2002) Perakaran galur dan varietas padi berpotensi hasil tinggi. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 21 (3), 54–58.
- Suhartini, T. & Sutoro (2007) Pengelompokan plasma nutfah padi liar (*Oryza* spp.) berdasarkan peubah kuantitatif tanaman. *Berita Biologi*, 8 (6), 445–453.
- Suralta, R.R. (2010) Plastic root system development responses to drought-enhanced nitrogen uptake during progressive soil drying conditions in rice. *The Philippine Agricultural Scientist*, 93 (4), 458–459.
- Uga, Y., Sugimoto, K., Ogawa, S., Rane, J., Ishitani, M., Hara, N., Kitomi, Y., Inukai, Y., Ono, K., Kanno, N., Inoue, H., Takehisa, H., Motoyama, R., Nagamura, Y., Wu, J., matsumoto, T., Takai, T., Okuno, K. & Yano, M. (2013) Control of root system architecture by deeper rooting increases rice yield under drought conditions. *Nature Genetics*, 45 (9), 1097–1102.