

# Keragaan hasil gula dan hasil biji beberapa kultivar sorghum manis di tiga wilayah lahan kering Kabupaten Pekalongan dan Batang, Jawa Tengah

## Performance of sugar yield dan grain yield some sweet sorghum cultivars in the three dry land of Pekalongan and Batang, Central Java

IHDA NOVANY BADRIYAH<sup>1\*</sup>, TARYONO<sup>2</sup>, RUDI HARI MURTI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Peternakan Kabupaten Batang, Jl. Dr. Wahidin No. 56, Batang 51215, Jawa Tengah, Indonesia. Tel./Fax. +62-285-391031, \*email: ihda.nb@gmail.com

<sup>2</sup>Program Studi Pemuliaan Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Sleman 55281, Yogyakarta

Manuskrip diterima: 20 Februari 2015. Revisi disetujui: 6 Mei 2015.

**Abstrak.** Badriyah IN, Taryono, Murti RH. 2015. Keragaan hasil gula dan hasil biji beberapa kultivar sorghum manis di tiga wilayah lahan kering Kabupaten Pekalongan dan Batang, Jawa Tengah. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 1*: 809-813. Sorghum manis (*Sorghum bicolor* L. Moench) memiliki potensi yang tinggi untuk tumbuh dan dikembangkan di Indonesia karena adaptabilitas yang luas dan produktivitas yang tinggi. Studi ini bermaksud untuk mengetahui pengaruh interaksi genotipe x lingkungan pada tujuh nomor sorghum manis yang ditanam di tiga wilayah lahan kering, yaitu Kajen, Kabupaten Pekalongan, Subah, dan Batang, Kabupaten Batang, Jawa Tengah. Berdasarkan nilai PC1, G1, G2, dan G3 memiliki hasil gula yang tinggi, sementara G4, G5, dan G6 memiliki hasil biji yang tinggi. Untuk parameter hasil gula, G1, G2, dan G3 memiliki interaksi positif dengan lokasi 1 (Kajen, Kabupaten Pekalongan) dan lokasi 3 (Batang, Kabupaten Batang), tetapi memiliki interaksi negatif dengan lokasi 2 (Subah, Kabupaten Batang). Sementara untuk parameter hasil biji G4, G5, dan G6 memiliki interaksi negatif dengan seluruh lokasi pengujian. Hasil analisis *GGE Biplot* pada grafik *which-won-where* menunjukkan bahwa untuk parameter hasil gula, G1 memiliki hasil gula tertinggi untuk lokasi di Kabupaten Pekalongan, sementara G3 untuk lokasi di Kabupaten Batang. Untuk parameter hasil biji, G2 memiliki hasil biji tertinggi di Kabupaten Pekalongan, Subah, dan Kabupaten Batang, sementara G4 memiliki hasil biji tertinggi di Batang, Kabupaten Batang. Kelompok genotipe pada grafik *GGE biplot*, baik untuk parameter hasil gula maupun hasil biji, menunjukkan sebaran yang tidak berkelompok. Hal ini mengindikasikan bahwa karakter genotipe yang diuji berbeda-beda.

**Kata kunci:** *GGE biplot*, interaksi genotipe x lingkungan, sorghum manis, uji multilokasi

**Abstract.** Badriyah IN, Taryono, Murti RH. 2015. The performance of sugar yield dan grain yield some sweet sorghum cultivars in the three dry land of Pekalongan and Batang, Central Java. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 1*: 809-813. Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) has a high potential to grow and develop in Indonesia due to broad adaptability and high productivity. The aim of this study was to know the effect of interaction between genotype and environment for seven sweet sorghum cultivars that were planted in the three dry land i.e., Kajen in Pekalongan District, Subah, and Batang in Batang District, Central Java. The PC1 score showed that G1, G2 and G3 had a high sugar yield, while G4, G5 and G6 had a high grain yield. For sugar yield, G1, G2 and G3 had a positive interaction with first location (Kajen) and third location (Batang). But for grain yield, G4, G5 and G6 showed negative interaction with all locations. *Which-won-where* graph of *GGE biplot* analysis showed that G1 had the highest sugar yield in Pekalongan and G3 in Batang. The different result for the highest grain yield was G2 in Pekalongan and Subah, and G4 in Batang. The genotype distribution as shown in *GGE biplot* graph showed unlocalized spreading. It meant that the sweet sorghum cultivars that were used in this study had different genotype.

**Keywords:** Genotype x environment interaction, *GGE biplot*, multilocation trial, sweet sorghum

## PENDAHULUAN

Sorghum manis (*Sorghum bicolor* L. Moench) merupakan komoditas yang potensial untuk dikembangkan sebagai bahan pangan dan energi. Salah satu kelebihan sorghum manis adalah proses budinya dapat dilakukan bersamaan untuk kepentingan produksi bahan pangan dan energi. Biji sorghum manis memiliki kandungan karbohidrat yang tinggi sebagai bahan pangan, sementara nira batang dan pati bijinya dapat dikonversi

menjadi bioetanol melalui proses fermentasi sebagai sumber energi (Tsuchihashi dan Goto 2008). Sebagai bahan baku bioenergi, sorghum memenuhi tiga syarat utama yang diperlukan untuk dapat diproduksi secara massal, yaitu tidak berkompetisi dengan tanaman pangan, produktivitas tinggi, dan biaya produksi rendah. Dari aspek budi daya, sorghum manis memiliki keunggulan daya adaptasi yang luas untuk kondisi kekeringan (Sungkonu et al. 2009).

Kabupaten Pekalongan dan Kabupaten Batang terletak di pesisir pantai utara Pulau Jawa dan masuk ke dalam

Provinsi Jawa Tengah. Sebagian besar wilayah Kabupaten Pekalongan dan Kabupaten Batang memiliki karakteristik lahan kering yang banyak dimanfaatkan masyarakat untuk tanaman pekarangan.

Pada pengujian lingkungan, komponen hasil merupakan gabungan dari pengaruh genetik, lingkungan, dan interaksi genotipe x lingkungan (DeLacy et al. 2010; Yan dan Tinker 2005; Yang et al. 2009). Adanya interaksi genotipe x lingkungan dapat menyebabkan tidak stabilnya hasil tanaman pada tiap lingkungan. Akan tetapi, pada batasan tertentu, tanaman memiliki kemampuan adaptasi yang dapat meminimalkan pengaruh lingkungan yang tidak menguntungkan dan memaksimalkan pengaruh lingkungan yang menguntungkan (Adugna 2010; DeLacy et al. 2010; Mortazavian et al. 2014)

Keragaan sifat tanaman sangat dipengaruhi oleh faktor fenotipe, genotipe, dan interaksi genotipe x lingkungan. Kandungan gula dan hasil biji tanaman sorghum manis merupakan sifat penting dalam pengembangan sorghum manis menjadi salah satu tanaman sumber energi terbarukan. Kedua sifat penting tersebut merupakan komponen sifat yang selain dipengaruhi oleh faktor genetik juga oleh faktor lingkungan (Aina et al. 2009; Alwala et al. 2010; DeLacy et al. 2010). Oleh karena itu, pengetahuan atas interaksi faktor genetik x lingkungan terhadap kedua sifat tersebut menjadi sangat penting untuk diketahui.

Hasil pengujian genotipe di beberapa lokasi sering kali tidak disajikan dalam bentuk grafik sehingga sulit untuk memetakan tanggapan genotipe terhadap lokasi yang berbeda (Mortazavian et al. 2014; Rao et al. 2011). Analisis *biplot* memberikan solusi untuk permasalahan tersebut karena menyajikan data dua arah (*two-way data*) dan memberikan visualisasi hubungan antara lingkungan, genotipe, dan interaksi keduanya. Analisis GGE *biplot* telah digunakan secara luas untuk menunjukkan interaksi genotipe x lingkungan (Aina et al. 2009; Mortazavian et al. 2014; Rao et al. 2011).

Metode GGE *biplot* merupakan gabungan dua konsep, yaitu konsep *biplot* dan konsep GGE yang menggambarkan hubungan PC1 dengan PC2 untuk *biplot*. Grafik GGE *biplot* ini dapat digunakan untuk membandingkan

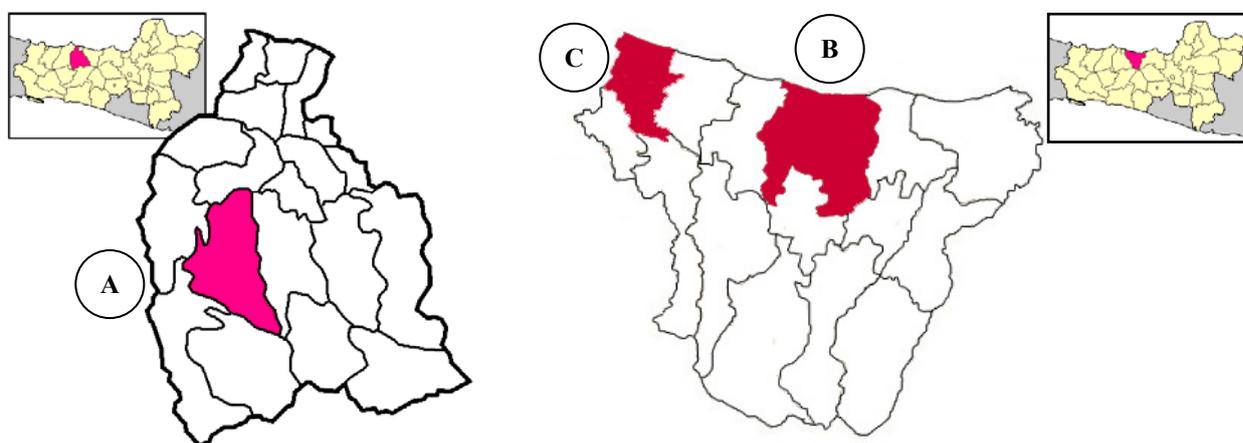
perbedaan penampilan genotipe pada suatu lingkungan, membandingkan penampilan suatu genotipe pada lingkungan berbeda, membandingkan penampilan dua genotipe pada semua lingkungan, mengidentifikasi suatu genotipe terbaik pada semua lingkungan, serta mengidentifikasi galur ideal dan lokasi pengujian (Alwala et al. 2010; Aina et al. 2009; Mortazavian et al. 2014; Samonte et al. 2005).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui keragaan kandungan gula batang dan hasil biji beberapa kultivar sorghum manis di 3 (tiga) wilayah lahan kering Kabupaten Pekalongan dan Kabupaten Batang, Provinsi Jawa Tengah serta memberikan rekomendasi genotipe unggulan sebagai bahan pemuliaan selanjutnya.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di tiga lokasi, yaitu di Kecamatan Kajen, Kabupaten Pekalongan (L1), Kecamatan Subah (L2), dan Kecamatan Batang, Kabupaten Batang (L3), dimulai dari bulan Oktober 2011 dan berakhir pada bulan Agustus 2012. Bahan yang digunakan berupa tujuh nomor sorghum manis yang merupakan koleksi salah seorang penulis (i.e. Taryono). Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok lengkap dengan 3 ulangan dan masing-masing plot berukuran 10 m<sup>2</sup>.

Pengamatan dilakukan untuk hasil biji dan hasil gula. Hasil biji diperoleh dengan menimbang hasil panen biji pada plot dan dinyatakan dalam ton/ha. Hasil gula diperoleh dengan mengalikan hasil batang (berat batang) dengan rasio ekstraksi jus (nira batang) dan kandungan gula total kemudian dinyatakan dalam ton/ha. Rasio ekstraksi jus diperoleh dengan perhitungan berat jus batang dibagi dengan berat batang sebelum dijus, dinyatakan dalam persentase (%). Kandungan gula total =  $\{(1,1 \times \text{Brix}) - 3,46\}$  (Tsuchihashi dan Goto 2004) dimana nilai Brix dari jus diukur menggunakan *hand refraktometer* merk "alla france". Selanjutnya dilakukan analisis GGE *Biplot* menggunakan GGE *biplot software* (Yan dan Kang 2003).



**Gambar 1.** Lokasi penelitian: A. Kecamatan Kajen, Kabupaten Pekalongan, B. Kecamatan Subah, dan C. Kecamatan Batang, Kabupaten Batang

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Rerata hasil gula dari genotipe yang diuji berkisar antara 110,9-204,7 ton/ha (rerata 140,7 ton/ha). G3 memiliki rerata hasil gula paling tinggi, disusul G3. Kedua genotipe tersebut memiliki rerata hasil gula yang lebih tinggi dibanding rerata umum. Sementara rerata hasil biji berkisar antara 0,7-1,4 ton/ha (rerata 1,1 ton/ha). G6 memiliki rerata paling tinggi, disusul G5 dan G4. Ketiganya memiliki hasil biji yang lebih tinggi dibanding rerata umum.

Nilai  $PC1 > 0$  pada suatu genotipe menggambarkan bahwa genotipe tersebut memiliki hasil biji yang tinggi, dan sebaliknya nilai  $PC1 < 0$  pada suatu genotipe menggambarkan bahwa genotipe tersebut memiliki hasil yang rendah (Karimizadeh et al. 2013; Mortazavian et al. 2014). Dengan demikian, G1, G2, dan G3 memiliki hasil gula yang tinggi, sedangkan G4, G5, G6, dan G7 memiliki hasil gula yang rendah. Demikian juga untuk parameter hasil biji, G4, G5, dan G6 memiliki hasil biji yang tinggi, sementara G1, G2, G3, dan G7 memiliki hasil biji yang rendah.

Nilai  $PC1$  lokasi untuk parameter hasil gula tersebar pada nilai  $PC1 > 0$  yaitu lokasi 1 (Kajen, Kabupaten Pekalongan) dan lokasi 3 (Batang, Kabupaten Batang), sementara nilai  $PC1 < 0$  untuk lokasi 2 (Subah, Kabupaten Batang). Hal yang berbeda tampak untuk parameter hasil biji dimana nilai  $PC1$  lokasi berkelompok pada nilai  $PC1 < 0$ . Kondisi ini menunjukkan adanya interaksi genotipe x lingkungan pada parameter hasil gula yang bersifat kualitatif (*crossover*), yaitu bahwa peringkat hasil biji genotipe berbeda-beda di berbagai lingkungan (Yan et al. 2007), sementara pada parameter hasil biji tidak berlaku demikian.

Genotipe dengan nilai  $PC1$  bertanda sama dengan nilai  $PC1$  lokasi menunjukkan interaksi yang positif, sebaliknya apabila tandanya berbeda maka interaksinya negatif. Dengan demikian untuk parameter hasil gula, G1, G2, dan G3 memiliki interaksi positif dengan lokasi 1 (Kajen, Kabupaten Pekalongan) dan lokasi 3 (Batang, Kabupaten Batang), tetapi memiliki interaksi negatif dengan lokasi 2 (Subah, Kabupaten Batang). Untuk parameter hasil biji, G4, G5, dan G6 memiliki interaksi negatif dengan seluruh lokasi pengujian. Sebagaimana diungkapkan Najafian et al. (2010) bahwa adaptasi spesifik lingkungan merupakan salah satu kunci perbaikan sifat tanaman.

Sebuah poligon yang menunjukkan pola “*which-won-where*” dapat digunakan untuk mengidentifikasi genotipe terbaik pada tiap lingkungan. Di dalam sebuah sektor, genotipe yang terletak pada titik sudut poligon merupakan genotipe yang paling baik di semua lingkungan pada sektor tersebut (Alwala 2010; Yan dan Kang 2003). Gambar 1 menunjukkan hasil analisis GGE *biplot* untuk parameter hasil gula (ton/ha). Gambar tersebut menunjukkan bahwa lokasi terbagi menjadi 2 sektor. Pada sektor yang berisikan lokasi 1 (Kajen, Kabupaten Pekalongan), G3 menunjukkan hasil gula yang terbaik. Sementara pada sektor yang berisikan lokasi 2 (Subah, Kabupaten Batang) dan lokasi 3 (Batang, Kabupaten

Batang), G1 menunjukkan hasil gula yang terbaik. Genotipe lainnya yang diujikan menunjukkan interaksi negatif untuk semua lokasi yang diujikan. Keberadaan genotipe dan lingkungan yang berada pada dua sektor yang berlawanan arah dengan jarak terjauh menunjukkan bahwa genotipe tersebut berinteraksi negatif paling besar dengan lingkungan tersebut.

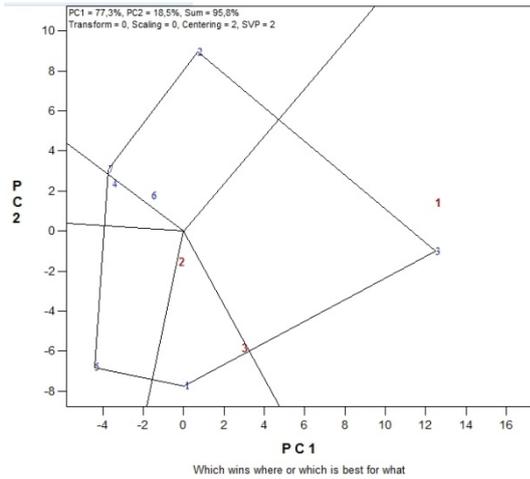
Hasil ini sejalan dengan banyak penelitian lain dengan analisis GGE *biplot* sebagaimana dilakukan oleh Adugna (2010), Aina et al. (2009), Alwala et al. (2010), dan Mortazavian et al. (2014). GGE *biplot* menampilkan genotipe ideal berdasarkan keragaan tanaman dan stabilitasnya. Dengan GGE *biplot*, genotipe yang memiliki respons yang sama pada suatu lingkungan akan berada pada kelompok yang sama pada grafik.

Sementara untuk parameter hasil biji (ton/ha), grafik poligon ditunjukkan oleh Gambar 2. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa lokasi terbagi menjadi 2 sektor. G2 menunjukkan hasil biji terbaik untuk sektor yang berisikan lokasi 1 (Kajen, Kabupaten Pekalongan) dan lokasi 2 (Subah, Kabupaten Batang). Sementara G4 menunjukkan hasil biji yang paling baik untuk sektor yang berisikan lokasi 3 (Batang, Kabupaten Batang).

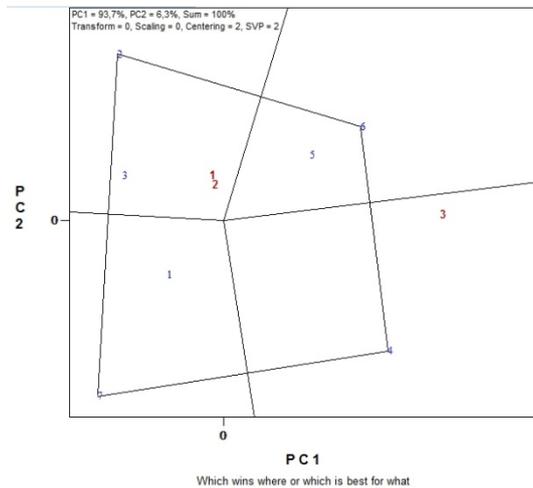
Keragaan hasil dan stabilitas suatu genotipe dapat dievaluasi dengan metode koordinat rerata lingkungan atau ATC (Yan 2001; Aina et al. 2009; Karimizadeh et al. 2013; Krisnawati 2013). Pada metode ini, rerata lingkungan didefinisikan dengan rerata nilai  $PC1$  dan  $PC2$  semua lingkungan dan digambarkan dengan lingkaran kecil pada grafik GGE *biplot*. Garis lurus yang melewati titik koordinat rerata lingkungan (ATC) dengan titik asal *biplot* disebut sumbu rerata lingkungan (sumbu horizontal) yang berperan sebagai absis ATC. Sebagai ordinat, ATC adalah garis lurus yang melalui titik asal *biplot* dan tegak lurus ATC (sumbu vertikal). Absis ATC mengikuti arah tanda panah menunjukkan semakin besar efek utama genotipe. Sumbu horizontal ATC membagi genotipe-genotipe yang memiliki hasil biji lebih tinggi dari rerata umum dengan genotipe-genotipe yang memiliki hasil biji lebih rendah dari rerata umum. Sementara sumbu vertikal ATC membagi genotipe-genotipe yang memiliki kestabilan lebih tinggi dengan genotipe-genotipe yang memiliki kestabilan lebih rendah (Karimizadeh et al. 2013; Krisnawati 2013).

**Tabel 1.** Rerata hasil dan skor  $PC1$  dan  $PC2$

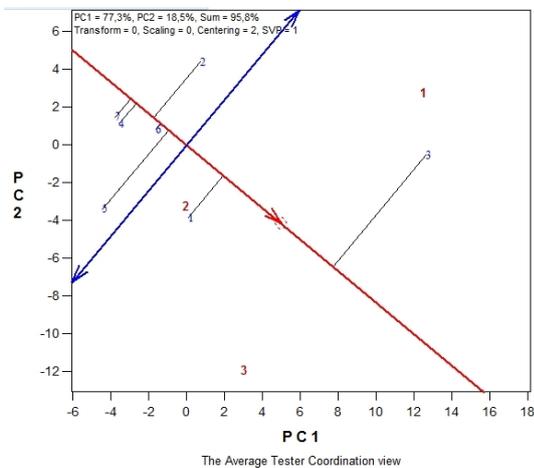
| Genotipe | Rerata hasil gula (ton/ha) | $PC1$  | $PC2$  | Rerata hasil biji (ton/ha) | $PC1$  | $PC2$  |
|----------|----------------------------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
| G1       | 156,662                    | 0,067  | 5,168  | 0,967                      | -0,262 | -0,132 |
| G2       | 128,628                    | 0,657  | -5,860 | 1,057                      | -0,491 | 0,390  |
| G3       | 204,749                    | 11,825 | 0,736  | 0,963                      | -0,469 | 0,103  |
| G4       | 112,455                    | -3,346 | -1,503 | 1,331                      | 0,762  | -0,310 |
| G5       | 134,782                    | -4,156 | 4,548  | 1,343                      | 0,399  | 0,150  |
| G6       | 136,942                    | -1,507 | -1,111 | 1,468                      | 0,639  | 0,218  |
| G7       | 110,994                    | -3,539 | -1,978 | 0,732                      | -0,578 | -0,419 |
| L1       | 178,020                    | 13,191 | -2,036 | 0,701                      | -0,088 | 0,562  |
| L2       | 107,603                    | -0,243 | 2,444  | 0,560                      | -0,071 | 0,450  |
| L3       | 136,611                    | 3,077  | 8,920  | 2,108                      | 1,414  | 0,058  |



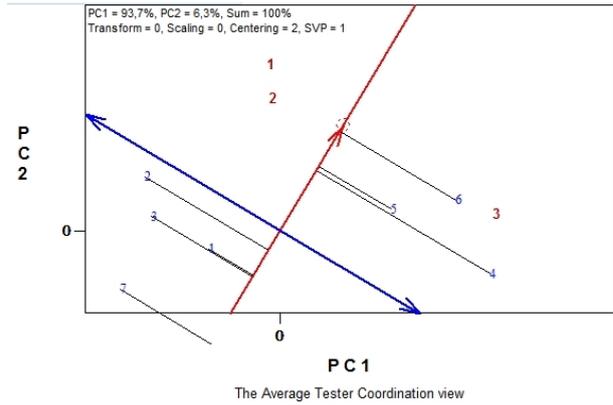
**Gambar 2.** Grafik poligon GGE *biplot* parameter hasil gula (ton/ha) untuk pola *which-won-where*



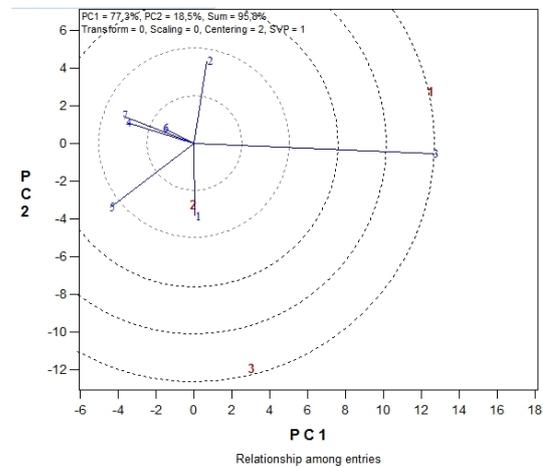
**Gambar 3.** Grafik poligon GGE *biplot* parameter hasil biji (ton/ha) untuk pola *which-won-where*



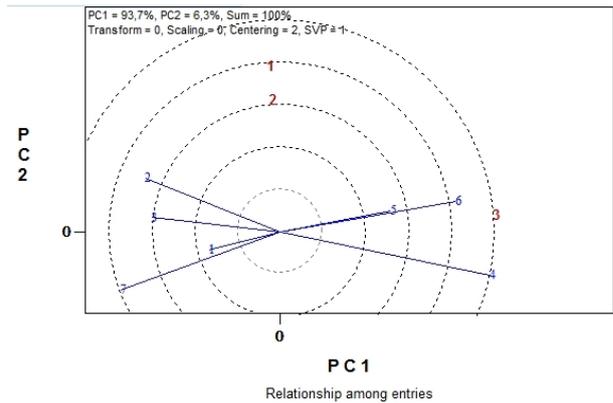
**Gambar 4.** Koordinat rerata lingkungan GGE *biplot* parameter hasil gula (ton/ha)



**Gambar 5.** Koordinat rerata lingkungan GGE *biplot* parameter hasil biji (ton/ha)



**Gambar 6.** Sebaran genotipe GGE *biplot* parameter hasil gula (ton/ha)



**Gambar 7.** Sebaran genotipe GGE *biplot* parameter hasil biji (ton/ha)

Gambar 3 menunjukkan bahwa G3 memiliki rerata umum hasil gula lebih tinggi dari rerata lingkungan serta lebih stabil. Sementara G1 meskipun memiliki rerata umum hasil gula yang lebih tinggi tetapi tidak stabil. Genotipe lainnya menunjukkan rerata umum hasil gula yang lebih rendah. Untuk parameter hasil biji, sebagaimana

ditunjukkan oleh Gambar 4, terlihat bahwa G4, G5, dan G6 memiliki rerata umum hasil biji yang lebih tinggi meskipun tidak stabil. Sementara genotipe lainnya menunjukkan rerata umum hasil biji yang lebih rendah tetapi stabil.

Genotipe ideal didefinisikan sebagai genotipe yang memiliki rerata hasil tertinggi di semua lokasi pengujian, sekaligus memiliki stabilitas yang tinggi (memiliki peringkat tertinggi di semua lokasi pengujian) (Yan dan Kang 2003; Aina et al. 2009; Adugna 2010; Mortazavian et al. 2014). Meskipun genotipe yang benar-benar ideal belum tentu ada dalam kenyataan, namun dengan menentukan genotipe yang mendekati ideal maka hal tersebut dapat dijadikan acuan untuk evaluasi genotipe. Suatu genotipe akan terpilih apabila terletak lebih dekat dengan definisi genotipe ideal.

Dari penelitian ini, genotipe yang tergolong stabil untuk parameter hasil gula adalah G1 dan G3. Sementara untuk parameter hasil biji genotipe yang terbaik adalah G4, G5, dan G6. G2 meskipun merupakan genotipe terbaik di lokasi 1 (Kajen Kabupaten Pekalongan) dan lokasi 2 (Subah Kabupaten Batang) memiliki rerata umum yang lebih rendah meskipun stabil.

Sebaran genotipe yang diujikan ditunjukkan oleh Gambar 5 dan 6. Kelompok genotipe pada grafik GGE *biplot*, baik untuk parameter hasil gula maupun hasil biji, menunjukkan sebaran yang tidak berkelompok. Hal ini mengindikasikan bahwa karakter genotipe yang diuji berbeda-beda.

Telah banyak penelitian yang mengungkap manfaat penggunaan GGE *biplot* dalam pengujian genotipe di beberapa lokasi. Penelitian ini menegaskan kembali kemudahan interpretasi hasil penelitian setelah dianalisis dengan GGE *biplot*. Hasil gula dan hasil biji sorghum manis di Kabupaten Pekalongan dan Kabupaten Batang berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan hasil yang cukup baik. Dengan teknologi budi daya konvensional yang sederhana, pengembangan sorghum manis di kawasan utara Pulau Jawa sangat mungkin dilakukan. Untuk lokasi Kabupaten Pekalongan dan Kabupaten Batang, G1 dan G3 dapat dikembangkan karena memiliki hasil gula yang tinggi meskipun hasil bijinya rendah karena pada dasarnya penggunaan sorghum manis memang bertujuan untuk mendapatkan hasil gula yang tinggi sebagai bahan baku bioetanol. Hasil biji sorghum manis bukan merupakan bahan pangan utama. Namun mengingat pati bijinya dapat dimanfaatkan pula sebagai bahan baku bioetanol maka diperlukan penelitian lebih lanjut guna memperoleh sorghum manis dengan hasil gula dan hasil biji yang tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adugna A. 2010. Assessment of yield stability in sorghum. *Afr Crop Sci J* 15 (2): 83-92.
- Aina O, Dixon A, Paul I, Akinrinde E. 2009. GxE interaction effects on yield and yield components of cassava (landraces and improved) genotypes in the savanna regions of Nigeria. *Afr J Biotechnol* 8 (19): 4933-4945.
- Alwala S, Kwolek T, McPherson M et al. 2010. A comprehensive comparison between Eberhart and Russel joint regression and GGE biplot analysis to identify stable and high yielding maize hybrids. *Field Crops Res* 119: 225-230.
- DeLacy I, Kaul S, Rana B, Cooper M. 2010. Genotypic variation for grain and stover yield of dryland (rabi) sorghum in India 2. A characterization of genotype x environment interactions. *Field Crops Res* 118 (3): 236-242.
- Karimizadeh R, Mohammadi M, Sabaghni N et al. 2013. GGE biplot analysis of yield stability in multi-environment trials of lentil genotypes under rainfed condition. *Not Sci Biol* 5 (2): 256-262.
- Krisnawati A. 2013. Analisis Uji Multilokasi Galur-galur Kedelai (*Glycine max* L.) Menggunakan Regresi dan Dekomposisi Nilai Tunggal. [Tesis]. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Mortazavian SMM, Nikkhah HR, Hassani FA et al. 2014. GGE biplot and AMMI analysis of yield performance of Barley genotypes across different environment in Iran. *J Agr Sci Tech* 16: 609-622.
- Najafian G, Kaffashi A, Jafar-Nezhad A. 2010. Analysis of grain yield stability in hexaploid wheat genotypes grown in temperate regions of Iran using additive main effects and multiplicative interaction. *J Agr Sci Tech* 12: 213-222.
- Rao PS, Reddy PS, Rathore A et al. 2011. Application GGE biplot and AMMI model to evaluate sorghum (*Sorghum bicolor*) hybrids for genotype x environment interaction and seasonal adaptation. *Indian J Agric Sci* 81 (5): 438-444.
- Samonte SOPB, Wilson LT, McClung AM, Medley JC. 2005. Targeting cultivar onto rice growing environment using AMMI and SREG GGE biplot analysis. *Crop Sci* 45: 2414-2424.
- Sungkono, Trikoesoemaningtyas, Wirnas D et al. 2009. Pendugaan parameter genetik dan seleksi galur mutan Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) di tanah masam. *J Agron Indonesia* 37 (3): 220-225.
- Tsuchihashi N, Goto Y. 2004. Cultivation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and determination of its harvest time to make use as the raw material for fermentation, practiced during rainy season in dry land of Indonesia. *Plant Prod Sci* 7 (4): 442-448.
- Tsuchihashi N, Goto Y. 2008. Year-round cultivation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) through a combination of seed and ratoon cropping in Indonesian savanna. *Plant Prod Sci* 11: 377-384.
- Yan W, Kang MS. 2003. GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC Press, Boca Raton.
- Yan W, Kang MS, Ma B et al. 2007. GGE biplot vs AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Sci* 47: 643-653.
- Yan W, Tinker NA. 2005. An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting, and exploring genotype x environment interaction. *Crop Sci* 45: 1004-1016.
- Yang RC, Crossa J, Cornelius PL, Burgueno J. 2009. Biplot analysis genotype x environment interaction: Proceed with caution. *Crop Sci* 49: 1564-1576.