

ANALISIS GRAFIK GGE-BIPLLOT GENOTIP, LINGKUNGAN DAN INTERAKSINYA PADA KANDUNGAN FE BERAS

GGE Biplot Analysis of Genotype, Environment and Their Interaction on Rice Fe Content

Oleh :

Suwarto¹⁾, Nasrullah²⁾, Taryono²⁾ dan Endang Sulistyanyingsih²⁾

¹⁾ Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto

²⁾ Program Pasca Sarjana UGM Yogyakarta

Alamat korespondensi: Suwarto (oryza_ryza@yahoo.com)

ABSTRAK

Data konsentrasi Fe beras 10 genotip padi pada 4 lingkungan musim hujan tahun 2007 – 2008 dianalisis menggunakan metode GGE-biplot. Tujuan penelitian adalah untuk mempelajari pengaruh genotip, lingkungan dan interaksi genotip lingkungan pada konsentrasi Fe beras. Penelitian dilakukan menggunakan rancangan Acak Kelompok Lengkap, tiga kali ulangan pada tiap lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan lingkungan, genotip dan interaksinya berpengaruh nyata terhadap konsentrasi Fe beras. Lingkungan menjelaskan 66.55% dari variasi total (G + E + GE), sedangkan G dan GE menjelaskan 10.07% dan 23.38%. Dua principal component (PC1 and PC2) digunakan untuk membuat grafik GGE-biplot, menjelaskan 74.10% dan 14.55% dari JK (jumlah Kuadrat) GGE. Genotipe G4 (Barumun) merupakan genotip ideal karena memiliki konsentrasi Fe beras tertinggi dan paling stabil. Lingkungan L4 (Cilongok) merupakan lingkungan terbaik karena paling representative mewakili semua lingkungan dan paling kuat untuk membedakan genotip.

Kata Kunci : Fe beras, genotip, lingkungan, interaksi, GGE-biplot

ABSTRACT

Fe concentration in rice data of 10 genotypes tested across 4 paddy field environments during the 2007 – 2008 wet season were analyzed using the GGE-biplot method. The objective of this study was to explore the effect of genotype and genotype x environment interaction on the Fe rice concentration of 10 rice genotypes. Experiments were conducted using a randomized completely block design with three replications at 4 environments. Results indicate that environment, genotype and genotype x environment interaction were significantly effect on Fe rice concentration. Environment explained 66.55% of total (G + E + GE) variation, whereas G and GE captured 10.07% and 23.38%, respectively. The first two principal components (PC1 and PC2) were used to create a two-dimensional GGE-biplot and explained 74.10% and 14.55% of GGE sum of squares. Genotype G4 (Barumun) was desirable in terms of highest Fe rice concentration ability and stability. Environment L4 (Cilongok) was the best representative of the overall environments and the most powerful to discriminate genotypes.

Key words : Fe rice concentration, genotype, environment, interaction, GGE-biplot

PENDAHULUAN

Biofortifikasi Fe adalah kegiatan pemuliaan tanaman untuk meningkatkan kandungan Fe pada produk tanaman. Hasil biofortifikasi Fe adalah varietas unggul baru yang memiliki kandungan nutrisi Fe tinggi (Gregorio *et al.*, 2005). Melalui biofortifikasi Fe pada tanaman padi akan tersedia varietas unggul padi yang

memiliki kandungan Fe beras tinggi yang secara alami dapat mengurangi atau mencegah penyakit yang disebabkan oleh defisiensi Fe (anemia).

Bofortifikasi Fe akan berjalan efektif jika didukung dengan informasi-informasi ilmiah tentang kandungan nutrisi Fe dalam beras. Salah satu informasi yang sangat penting adalah bagaimana genotip,

lingkungan, dan interaksinya mempengaruhi kandungan nutrisi Fe beras. Informasi tersebut akan menentukan berbagai aspek dan strategi pemuliaannya.

Interaksi genotip x lingkungan sifat kandungan Fe beras yang nyata dapat secara serius mengganggu usaha seleksi memilih genotip superior dalam program pengembangan genotip baru (Shafii and Price, 1998). Seleksi memilih genotip baru berkadar Fe beras tinggi tidak cukup dilakukan pada satu lingkungan. Interaksi genotip x lingkungan sifat kandungan Fe beras yang nyata mempengaruhi program pengembangan genotip baru, yaitu pengembangan genotip yang berbeda untuk lingkungan berbeda dan kondisi iklim berbeda (Busey, 1983).

Informasi pola interaksi genotip x lingkungan bermanfaat bagi pemulia tanaman untuk membantu mengembangkan suatu genotip yang ditujukan untuk semua lingkungan atau genotip spesifik pada target lingkungan tertentu (Bridges, 1989). Informasi-informasi interaksi genotip x lingkungan kandungan nutrisi Fe beras yang melibatkan genotip-genotip padi dan lingkungan di Indonesia belum pernah dilaporkan.

Data hasil pengujian pertumbuhan dan produksi berbagai genotip pada berbagai lingkungan memiliki tipe kompleks, karena ada pengaruh genotip,

lingkungan dan interaksinya. Data tersebut perlu dianalisis dan disajikan dalam bentuk yang mudah dipahami, mudah diinterpretasikan dan memiliki akurasi yang tinggi. Teknik grafik biplot merupakan suatu alat yang sangat membantu memahami visualisasi data tersebut (Yan *et al.*, 2000; Yan, 2001, 2002; Yan and Kang, 2003).

Grafik biplot yang menampilkan hubungan genotip dan lingkungan, banyak digunakan untuk menampilkan hasil analisis AMMI (*Additive Main Effect and Multiplicative Interaction*) (Gauch and Zobel, 1997; Ebdon and Gauch, 2002, Ma *et al.* 2004; Samonte *et al.*, 2005). Saat ini, grafik biplot juga digunakan untuk interpretasi GGE (*Genotype and Genotype x Environment*) analisis. Melalui grafik GGE biplot dapat menampilkan secara visual evaluasi terhadap genotip, lingkungan dan interaksinya (Yan *et al.*, 2001; Yan and Hunt, 2002).

Dua tipe biplot, yaitu AMMI biplot (Zobel *et al.*, 1988) dan GGE biplot (Yan *et al.*, 2001) dapat digunakan untuk visualisasi data interaksi dua faktor. AMMI mengacu pada model statistik pengaruh utama penambahan dan interaksi penggandaan (Gauch and Zobel, 1997), sedangkan GGE mengacu pada model statistik pengaruh utama genotip dan interaksi GxE (Yan *et al.*, 2000). Kedua tipe visualisasi grafik biplot

menggambarkan interaksi perlakuan x lingkungan, namun masing-masing memiliki ciri khas yang berbeda. AMMI biplot menampilkan visualisasi pengaruh utama perlakuan dan lingkungan, sebagai tambahan pada interaksi perlakuan x lingkungan paling penting. GGE biplot menampilkan visualisasi interaksi silang perlakuan x lingkungan, hubungan antar perlakuan, dan hubungan antar lingkungan

Penelitian ini bertujuan untuk : (1) mendeterminasi pengaruh genotip, lingkungan dan interaksinya pada sifat kandungan Fe beras menggunakan analisis grafik GGE Biplot dan (2) Menentukan genotip dan lingkungan terbaik.

METODE PENELITIAN

1. Percobaan Lapangan

Penelitian dilaksanakan pada musim tanam 1 (Nopember 2007 – April 2008). Faktor yang dicoba ada dua , yaitu genotip padi, dan lingkungan. Genotip padi yang dicoba ada 10 genotip, yaitu : yaitu V1 (Bahbutong), V2 (Cimelati), V3 (Fatmawati), V4 (Barumun), V5 (Aeksibundong), V6 (IR 64), V7 (Sintanur), V8 (Bengawan Solo), V9 (Maligaya Special) dan V10 (Gilirang). Lingkungan yang digunakan ada empat, yaitu L1 (Banyumas), L2 (Baturaden), L3 (Gombang), dan L4 (Cilongok). Kondisi lingkungan penelitian beragam, yang dicirikan dengan perbedaan kandungan Fe

dalam tanah, tinggi tempat, irigasi dan drainase, lama penyinaran matahari. Rancangan Lapang yang digunakan pada tiap lingkungan adalah Rancangan Acak Kelompok Lengkap, tiga kali ulangan

2. Grafik Biplot

Suatu data dua arah hasil pengamatan (Y), seperti data produksi sejumlah genotip (G) yang ditanam pada berbagai lingkungan (E), akan mudah dipahami jika disajikan dalam bentuk grafik biplot. Penggambaran data dua arah genotype – lokasi (Y) dalam grafik biplot, diperlukan proses perhitungan untuk mendapatkan dua komponen matrik G dan E. Proses penguraian suatu tabel dua arah (matrik) menjadi dua komponen matrik perkalian disebut *Singular Value Decomposition* (SVD).

Pembuatan grafik biplot diperlukan suatu matrik A_{vxs} yang menggambarkan efek dua factor. Matrik tersebut sebagai subyek SVD. Hasil SVD matrik A_{vxs} adalah:

$$A_{vxs} = U_{vxr} \Delta_{rxr} V'_{rxs}$$

U_{vxr} : adalah matrik yang kolom-kolomnya merupakan eigenvector $A'A$

V_{srx} : adalah matrik yang kolom-kolomnya merupakan eigenvector AA'

Δ_{rxr} : adalah matrik diagonal dengan nilai yang tidak nol semakin mengecil

Hasil SVD matrik A_{vxs} adalah sejumlah k *principal component* (PC),

dimana $k \leq (v, s)$. Tiap PC tersusun atas tiga komponen, yaitu singular value (λ), eigenvector genotype (α) dan eigenvector lingkungan (γ). Hasil SVD juga dapat ditulis dalam formula :

$$a_{ij} = \sum_{k=1}^t \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk}$$

Model analisis GGE menggunakan formula berikut :

$$\bar{y}_{ij} = \mu + e_j + \sum_{k=1}^t \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

Nilai \bar{y}_{ij} rata-rata genotip ke i^{th} pada lingkungan ke j^{th} ; μ adalah rata-rata umum; e_j adalah efek genotip; e_j efek lingkungan; λ_k ($\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_t$) adalah nilai singular sebagai *orthonormal* nilai singular sebagai *orthonormal* nilai singular vector genotip, $\alpha_{ik} = (\alpha_{1k}, \dots, \alpha_{gk})$ dan lingkungan, $\gamma_{jk} = (\gamma_{1k}, \dots, \gamma_{ek})$,

dimana $\sum_i \alpha_{ik}^2 = \sum_j \gamma_{jk}^2 = 1$ dan

$$\sum_i \alpha_{ik} \alpha_{ik'} = \sum_j \gamma_{jk} \gamma_{jk'} = 0 \quad \text{untuk } k \neq k';$$

α_{ik} dan γ_{jk} untuk $k=1,2,3,\dots$ disebut "primer," "sekunder," "tersier," . . dan seterusnya sebagai efek genotip dan lingkungan; $\bar{\varepsilon}_{ij}$ residu error dengan

asumsi NID ($0, \sigma^2/r$) (dimana σ^2 pooled error variance dan r jumlah ulangan). Pendugaan kuadrat terkecil dari parameter multiplicative (*bilinear*) dalam k^{th} *bilinear*

didapat sebagai k^{th} komponen deviation dari bagian additive (linear) model. Pada model GGE (SREG) efek utama genotip (G) ditambah GEI masuk dalam batasan bilinear.

Penyajian dalam grafik biplot menggunakan dua PC terbesar pertama dan kedua (PC1 dan PC2), sehingga hasil SVD sebagai berikut :

$$a_{ij} = \lambda_1 \alpha_{i1} \gamma_{j1} + \lambda_2 \alpha_{i2} \gamma_{j2}$$

dimana λ_1 dan λ_2 merupakan nilai singular PC pertama dan kedua terbesar, yaitu PC1 dan PC2. Kuadrat dari nilai singular PC adalah sama dengan jumlah kuadrat yang dapat diterangkan dengan PC . Nilai α_{i1} dan α_{i2} adalah eigenvector genotip ke i untuk PC1 dan PC2; γ_{j1} dan γ_{j2} adalah eigenvector lingkungan ke j untuk PC1 dan PC2.

Eigenvector PC1 dan PC2 tidak dapat langsung digunakan untuk pembuatan grafik biplot sebelum nilai *singular* (λ) dibagi kedalam *eigenvector* genotip dan lingkungan. Pembagian nilai *singular* (λ) ke dalam *eigenvector* genotip dan lingkungan menggunakan formula :

$$g_{il} = \lambda_1^{fl} \alpha_{il} \quad \text{dan} \quad e_{lj} = \lambda_1^{1-fl} \gamma_{lj}$$

dimana l dapat 1 atau 2 mengacu pada jumlah PC, dan fl adalah faktor pembagi, yang secara teori nilainya antara 0 – 1.

HASIL PENELITIAN

Hasil analisis anova gabungan dari empat lingkungan (Tabel 2) menunjukkan bahwa kandungan Fe beras nyata dipengaruhi oleh lingkungan (L), yang dapat dijelaskan 66.55% dari total keragaman (G + E + GE), dipengaruhi oleh genotype (G = 10.07%) dan interaksi genotype x lingkungan (GE = 23.38%). Pemecahan nilai Jumlah Kuadrat (JK) G + GE melalui GGE-biplot analisis menunjukkan bahwa PC1 dan PC2 merupakan factor nyata yang dapat menjelaskan masing-masing 74.10% dan 14.55% dari total JK G + GE (Tabel 3).

Pada umumnya data hasil penelitian multi lokasi berupa data campuran interaksi GE tipe interaksi kualitatif (*crossover*) dan interaksi kuantitatif (*noncrossover*). Pada penelitian ini terdapat perbedaan genotip yang menghasilkan Fe beras tertinggi pada lingkungan yang berbeda (Tabel 1). Genotip G10 (Gilirang) menghasilkan Fe beras tertinggi di L1 (Banyumas), G 9 (Maligaya Sp) di L2 (Baturaden), G1 (Bahbutong) di L3 (Gombang) dan G4 (Barumun) di L4 (Cilongok). Perbedaan ranking genotip antar lingkungan menunjukkan ada interaksi GE tipe kualitatif (*crossover*).

Grafik biplot menampilkan hubungan genotip dan lingkungan. Grafik GGE biplot digunakan untuk interpretasi hasil

analisis G + GE. Melalui grafik GGE biplot dapat menampilkan secara visual evaluasi terhadap genotip dan lingkungan (Yan *et al.*, 2001; Yan and Hunt, 2002).

Interpretasi skor PC Genotip dan Lingkungan

Grafik GGE biplot basis skala focus-genotip menggambarkan lokasi-lokasi suatu genotip. Genotip yang memiliki skor PC1 >0 dapat diidentifikasi sebagai genotip yang memiliki kandungan Fe beras yang tinggi, sedangkan yang memiliki skor PC1 < 0 dapat diidentifikasi sebagai genotip yang memiliki kandungan Fe beras rendah, dibanding genotip lain yang diuji (Gambar 1, Tabel 1). Genotip G4 (Barumun) memiliki kandungan Fe beras rata-rata yang tertinggi, sedangkan G3 (Fatmawati) merupakan genotip dengan kandungan Fe beras rata-rata terendah.

Skor PC2 menggambarkan stabilitas suatu genotip. Semakin besar skor mutlak PC2, semakin tidak stabil keragaan suatu genotip pada berbagai lingkungan. Berdasarkan skor PC2 (Gambar 1), terdapat beberapa kelompok genotip. Kelompok genotip stabil dan Fe beras rendah adalah G 10 (Gilirang) dan G5 (Aeksibundong), kelompok genotip stabil dan Fe beras tinggi adalah G8 (Bengawan solo) dan G2 (Cimelati), kelompok genotip tidak stabil dan Fe beras tinggi adalah G4 (Barumun) dan G6 (IR 64). Grafik GGE

biplot basis skala focus-lingkungan menggambarkan estimasi pola suatu lingkungan (Gambar 2). Jika semua genotip memiliki skor PC1 > 0 atau PC < 0 menggambarkan keragaan yang sejalan genotip - genotip pada berbagai lingkungan, yang menunjukkan *type non-crossover* interaksi GE. Genotip dengan skor PC1 yang lebih besar dapat dengan mudah diidentifikasi pada lingkungan yang memiliki skor PC1 besar (Yan *et al.*, 2000). Hal yang sama pada skor PC2. Lingkungan yang memiliki skor PC2 kecil (lebih representatif untuk semua

lingkungan) dan lingkungan yang memiliki skor PC1 besar (lebih mampu membedakan genotip dalam batasan efek utama genotip).

Pada penelitian ini, skor PC1 lingkungan tersebar pada PC1>0 (L2, L3 dan L4) dan pada skor PC1<0 (L1). Demikian juga skor PC2 lingkungan, tersebar pada PC2 >0 (L1, L2 dan L3) dan skor PC2<0 (L4). Kondisi tersebut menunjukkan terjadi interaksi *crossover* GE, kandungan Fe beras genotip berbeda-beda antar lingkungan (Yan *et al.*, 2000).

Tabel 1. Kandungan Fe beras (ppm) 10 genotip pada 4 lingkungan

Genotip	Banyumas (L1)	Baturaden (L2)	Gombang (L3)	Cilongok (L4)	Rerata Genotip
G1 (Bahbutong)	20,60	14,72	24,80	46,26	26,59
G2 (Cimelati)	18,04	16,93	16,55	48,20	24,93
G3 (Fatmawati)	15,08	13,52	14,39	25,08	17,02
G4 (Barumun)	18,63	30,70	19,96	77,70	36,75
G5 (Aeksibundong)	20,58	20,85	12,34	45,50	24,82
G6 (IR 64)	21,58	13,21	9,42	64,05	27,07
G7 (Sintanur)	22,04	13,49	20,17	45,49	25,30
G8 (Bengawan solo)	22,55	16,74	13,29	53,34	26,48
G9 (Maligaya Sp)	29,05	32,49	15,93	35,03	28,12
G10 (Gilirang)	29,98	14,25	9,30	29,00	20,63
Rerata Lokasi	21,81	18,69	15,62	46,96	

Tabel 2. Hasil anova gabungan genotip, lingkungan dan interaksi genotype x lingkungan

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F	P > F	Model	JK (%)*
Lingkungan	3	18543,717	6181,239	5097,76	<,0001	Random	66,55
Ul (Lingk)	8	8,387	1,048	0,86	0,5502		
Genotip	9	2804,538	311,615	256,99	<,0001	Fixed	10,07
Genotip x Lingkungan	27	6514,646	241,283	198,99	<,0001	Random	23,38
Error	72	87,302	1,212				
Total	119	27958,591					

Keterangan: *) persentase terhadap total JK G, E dan GE

Tabel 3. Analisis GGE biplot kandungan Fe beras 10 genotip pada 4 lingkungan

Principal Component	Singular values	Eigen values	Total eigen values (%)	Kumulative (%)
PC1	83,10	6905,71	74,10	74,10
PC2	36,83	1356,37	14,55	88,65
PC3	27,14	736,34	7,90	96,55
Residu		320,77	3,44	100,00
Total		9319,19*		

Keterangan: *) Total *eigen values* sama dengan total Jumlah Kuadrat (JK) Genotip + (Genotip x Lingkungan)

Tabel 4. Nilai *Eigenvector* 10 genotip dan 4 lingkungan

Faktor	Kode	PC1	PC2
Genotip	G1	-0,07776	-0,71748
Genotip	G2	0,19029	-0,63547
Genotip	G3	-3,14974	-0,91881
Genotip	G4	4,71190	1,42893
Genotip	G5	-0,17909	0,34053
Genotip	G6	2,23239	-1,71070
Genotip	G7	-0,28085	-0,92320
Genotip	G8	0,82457	-0,56210
Genotip	G9	-1,45957	3,63928
Genotip	G10	-2,81216	0,05902
Lingkungan	L1	-0,57738	1,46132
Lingkungan	L2	1,09266	4,31826
Lingkungan	L3	0,51342	0,35254
Lingkungan	L4	6,79612	-0,59676

Suatu genotip memiliki interaksi positif yang besar dengan suatu lingkungan, namun dengan suatu lingkungan yang lain memiliki interaksi negatif yang besar. Genotip G4 (Barumun) memiliki kandungan Fe beras tertinggi pada lingkungan L4 (interaksi positif besar), namun memiliki kandungan Fe beras yang rendah pada lingkungan L1 (interaksi negatif besar), seperti tergambar pada Gambar 3.

Nilai efek interaksi GE yang lebih besar (23,38%) dibanding nilai efek utama genotip (10,07%) menunjukkan adanya

interaksi GE yang kuat. Hal tersebut ditunjukkan pada skor PC1 dan PC2 lingkungan yang tersebar pada semua kuadran (Gambar 2).

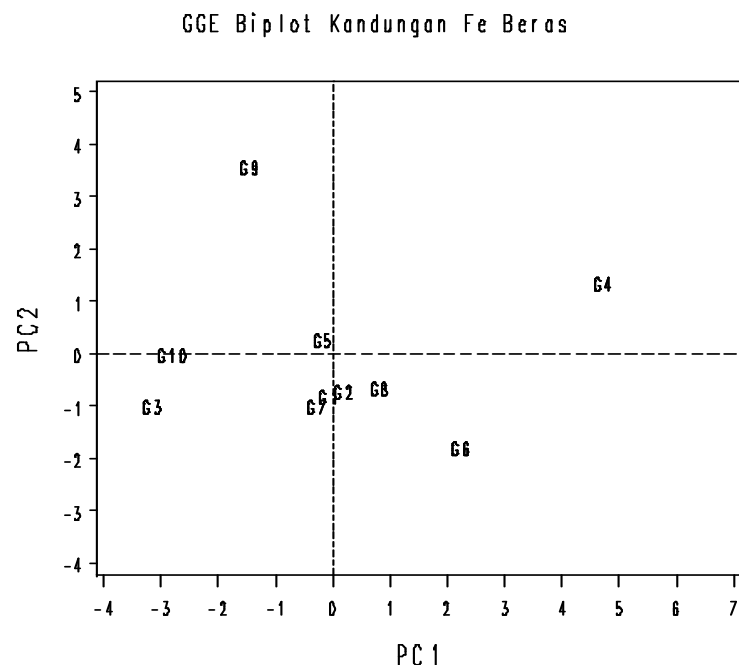
Identifikasi Genotip Terbaik Pada Tiap Lingkungan

Visualisasi grafik "which-won-where" dari data hasil penelitian uji multilokasi penting untuk mempelajari keberadaan kondisi lingkungan yang berbeda beda pada suatu wilayah (Gauch and Zobel, 1997; Yan *et al.*, 2000, 2001). Pola poligon pada grafik biplot merupakan cara yang terbaik untuk visualisasi pola

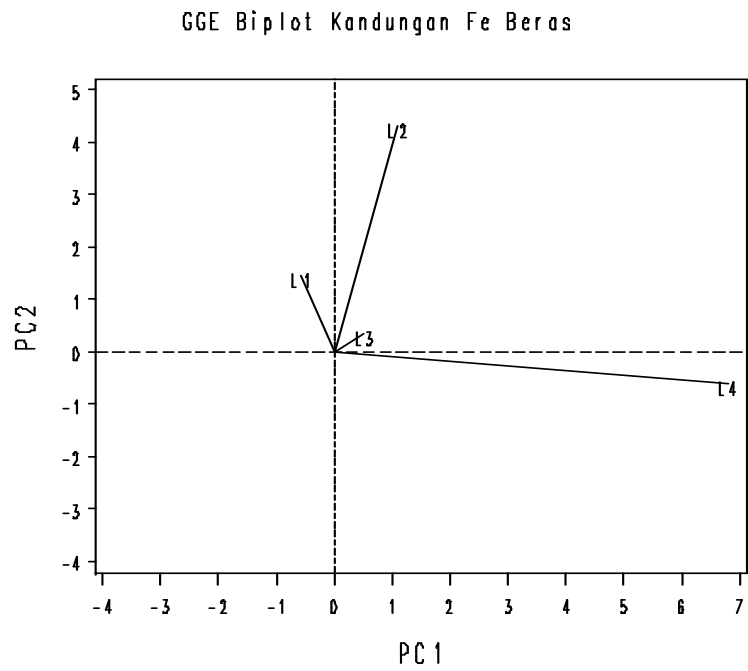
interaksi antara genotype x lingkungan dan sangat efektif untuk interpretasi biplot (Yan *and* Kang, 2003).

Titik sudut pola poligon grafik biplot pada penelitian ini adalah G4 (Barumun), G 9 (Maligaya Sp.), G3 (Fatmawati) dan G6 (IR 64). Genotip yang menjadi titik sudut poligon untuk tiap sektor adalah genotip yang menghasilkan Fe beras tertinggi pada lingkungan yang berada pada sektor yang sama. Hanya ada dua sektor diantara empat sektor yang ditempati titik lingkungan. Genotip G4 (Barumun) menghasilkan Fe beras tertinggi pada L4 (Cilongok), G9 (Maligaya Sp.) menghasilkan Fe beras

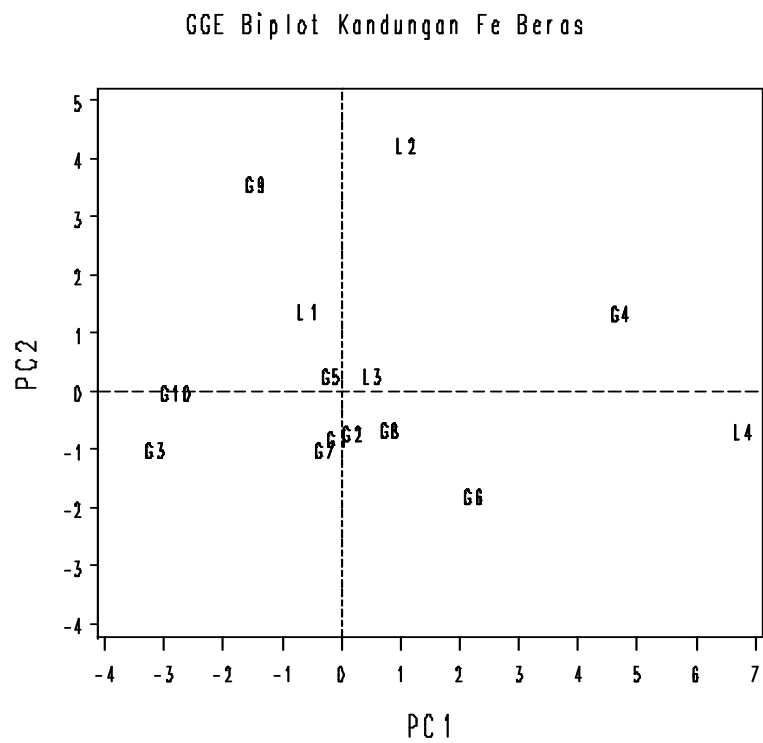
tertinggi pada L1 (Banyumas) dan L2 (Baturaden). Genotip G3 (Fatmawati) dan G10 (Gilirang) menghasilkan Fe beras terendah pada semua lingkungan (Gambar 4). Keberadaan genotip dan lingkungan yang berada pada dua sektor yang berlawanan arah dengan jarak terjauh menunjukkan bahwa genotip tersebut berinteraksi negatif paling besar dengan lingkungan tersebut. Genotip G3 (Fatmawati) menghasilkan Fe beras terendah dibanding genotip lain pada lingkungan L4 (Cilongok), genotip G6 (IR 64) menghasilkan Fe beras terendah pada lingkungan L2 (Baturaden).



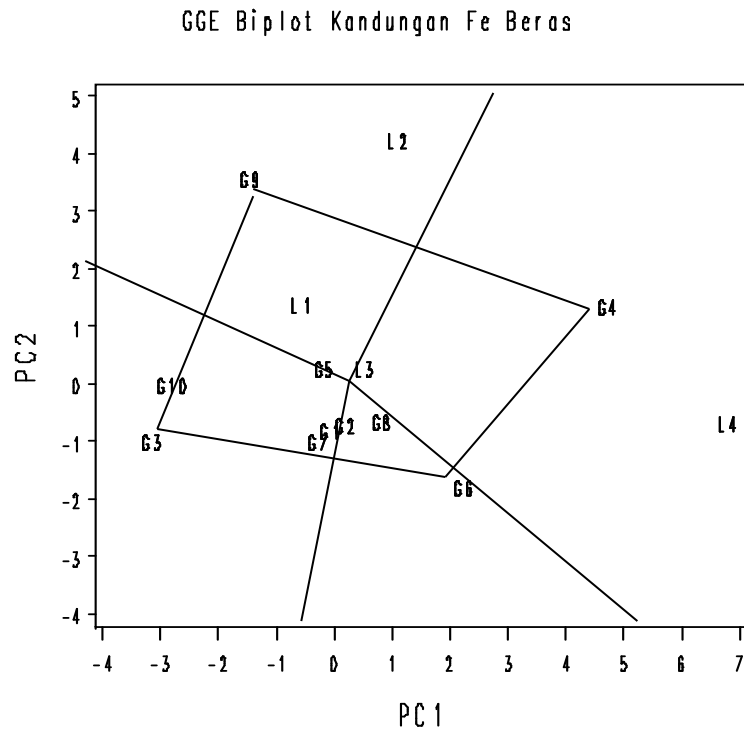
Gambar 1. Grafik GGE Biplot fokus genotip basis skala simetris.



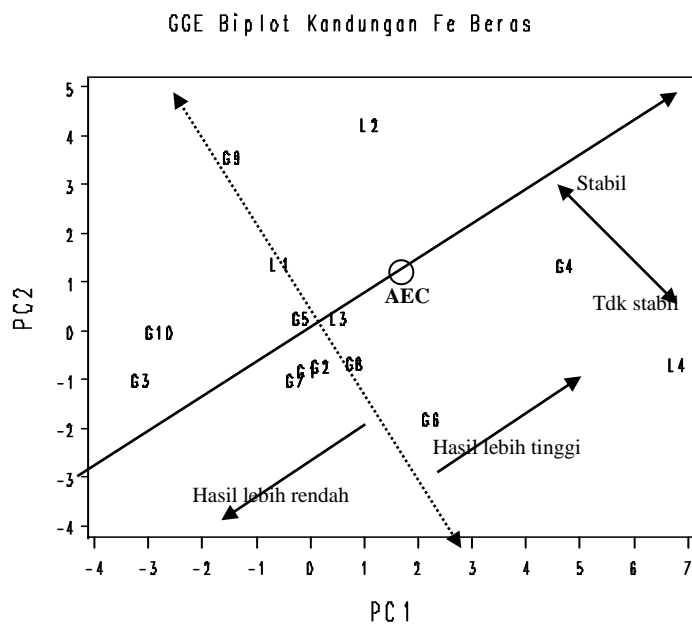
Gambar 2. Grafik GGE Biplot fokus lingkungan basis skala simetris



Gambar 3. Grafik GGE Biplot genotip dan lingkungan basis skala simetris



Gambar 4. Grafik GGE Biplot basis skala simetris untuk pola "which-won-where"



Gambar 5. Koordinat rerata lingkungan pada grafik GGE Biplot basis skala simetris

Keragaan Rerata Dan Stabilitas Genotip

Keragaan hasil dan stabilitas suatu genotip dapat dievaluasi dengan metode koordinat rerata lingkungan atau AEC (Yan, 2001; Yan and Hunt, 2002; Yan 2002). Pada metode ini, rata-rata lingkungan didefinisikan dengan rerata skor PC1 dan PC2 semua lingkungan, digambarkan dengan lingkaran kecil pada grafik GGE biplot (Gambar 5). Garis lurus yang melewati titik koordinat rerata lingkungan (AEC) dengan titik asal biplot disebut aksis rerata lingkungan, yang berperan sebagai absis AEC (satu ujung tanda panah). Sebagai ordinat AEC adalah garis lurus yang melalui titik asal biplot dan tegak lurus AEC (dua ujung tanda panah). Absis AEC mengikuti arah tanda panah menunjukkan semakin besar efek utama genotip. Ordinat AEC membagi genotip-genotip yang memiliki rerata Fe beras lebih tinggi dari rerata umum dengan genotip-genotip yang memiliki rerata Fe beras lebih rendah dari rerata umum. Genotip yang memiliki rerata Fe beras lebih tinggi dari rerata umum adalah G4 (Barumun), G6 (IR64) dan G9 (Maligaya Sp.), sedangkan genotip yang lain dibawah rerata umum. Arah pada ordinat AEC yang menjauh dari titik asal biplot menunjukkan efek interaksi GE yang semakin besar dan menurunnya stabilitas.

Identifikasi Genotip Ideal

Suatu alat yang dapat digunakan pada analisis GGE biplot untuk identifikasi genotip superior dan lingkungan ideal yang dapat untuk identifikasi suatu genotip adalah korelasi yang tinggi antara skor PC1 genotip dengan rerata hasil genotip (Yan *et al.*, 2000; Yen *et al.*, 2001; Yan and Rajcan, 2002; Crossa *et al.*, 2002). Menurut Yan and Rajcan (2002), genotip ideal adalah genotip yang memiliki skor PC1 besar (rerata hasil tinggi) dan skor absolut PC2 kecil (stabilitas tinggi).

Panjang vektor AEC (jarak dari titik asal biplot dengan tanda rerata lingkungan) merupakan ukuran relatif pentingnya efek utama genotip dibanding interaksi GE. Semakin panjang, yang lebih penting adalah efek utama genotip, yang berarti seleksi berdasar pada rerata keragaan. Pada penelitian ini, panjang vektor AEC mencukupi untuk seleksi genotip berdasarkan rerata keragaan (Fe beras). Genotip yang memenuhi kriteria tersebut adalah G4 (Barumun), sehingga dapat dipilih (Gambar 5). Dipihak lain, stabilitas genotip juga penting. Dengan demikian, G4 (Barumun) disamping Fe beras paling tinggi juga paling stabil dibanding genotip lain, sehingga merupakan genotip ideal.

Identifikasi Lingkungan Ideal

Lingkungan ideal yaitu lingkungan yang memiliki skor PC2 kecil (lebih representatif untuk semua lingkungan) dan

memiliki skor PC1 besar (lebih mampu membedakan genotip dalam batasan efek utama genotip). Pada Gambar 2, urutan ranking lingkungan berdasarkan tingkat paling representatif (skor PC2) adalah L3 (Gombang), L4 (Cilongkok), L1 (Banyumas) dan L2 (Baturaden). Urutan ranking lingkungan berdasarkan batasan kemampuannya untuk membedakan genotip (skor PC1) adalah L4 (Cilongkok), L2 (Baturaden), L3 (Gombang) dan L1 (Banyumas). Berdasarkan hasil tersebut, maka lingkungan yang ideal untuk seleksi genotip-genotip pada sifat kandungan Fe beras adalah L4 (Cilongkok). Hal tersebut dikarenakan kandungan Fe tanah di Cilongkok paling tinggi dibanding lingkungan yang lain, serta memiliki sistem drainase yang paling jelek.

Korelasi Antar Lingkungan

Korelasi antar lingkungan juga dapat tersaji dalam grafik GGE biplot. Vektor yang tergambar pada grafik GGE biplot menggambarkan hubungan (korelasi) antar lingkungan (Yan, 2002). Vektor antar lingkungan membentuk sudut dengan besaran tertentu. Nilai cosinus sudut yang dibentuk antar dua lingkungan menggambarkan nilai koefisien korelasi antar kedua lingkungan tersebut (Gambar 2). Semakin kecil sudut yang terbentuk antara vektor dua lingkungan ($< 90^{\circ}$), semakin erat hubungan antara kedua lingkungan tersebut, jika membentuk sudut

90° berarti tidak ada korelasi (koefisien korelasi $r = 0$), jika membentuk sudut $> 90^{\circ}$ berarti berkorelasi negatif ($r < 0$). Lingkungan L4 (Cilongkok) berkorelasi positif dengan L3 (Gombang), berarti keragaan suatu genotip yang diuji pada lokasi L4 (Cilongkok) sejalan dengan di lokasi L3 (Gombang). Sebaliknya, lingkungan L4 (Cilongkok) berkorelasi negatif dengan L1 (Banyumas), berarti keragaan suatu genotip yang diuji pada lokasi L4 (Cilongkok) bertolak belakang dengan keragaannya jika ditanam di L1 (Banyumas). Ukuran panjang vektor lingkungan juga menggambarkan besaran *standard deviasi* pada lingkungan tersebut. Semakin panjang garis vektor, semakin besar standard deviasi keragaan genotip-genotip pada lingkungan tersebut, yang berarti semakin besar kemampuan membeda-bedakan antar genotip.

KESIMPULAN

1. Lingkungan, genotip dan interaksinya berpengaruh nyata terhadap kandungan Fe beras.
2. Lingkungan menjelaskan 66.55% dari variasi total (G + E + GE), sedangkan G dan GE menjelaskan 10.07% dan 23.38%.
3. Dua *principal component* (PC1 and PC2) digunakan untuk membuat grafik GGE-biplot, menjelaskan

- 74,10% dan 14,55% dari JK (Jumlah Kuadrat) GGE.
4. Genotip G4 (Barumun) merupakan genotip ideal karena memiliki konsentrasi Fe beras tertinggi dan paling stabil.
 5. Lingkungan L4 (Cilongok) merupakan lingkungan terbaik karena paling representative mewakili semua lingkungan dan paling kuat untuk membedakan genotip.

DAFTAR PUSTAKA

- Bridge Jr, W.C. 1989. Analysis of plant breeding experiment with heterogeneous variance using mixed model equation. pp. 145-151. *In: Applications of mixed models in agriculture and related discipline*. So. Coop. Ser. Bull. No. 343. Louisiana Agricultural Experiment Station, Baton Rouge, LA.
- Busey, P. 1983. Management of crop breeding. pp. 31- 54 *In: D.R. Wood, K.M. Rawal, and M.N. Wood (Eds). Crop Breeding*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Madison.
- Crossa, J. P.L. Cornelius, and W. Yan. 2002. Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype x environment interaction. *Crop Sci.*, 42: 619-633.
- Ebdon, J.S., and H.G. Gauch. 2002. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turfgrass performance trials: interpretation of genotype x environment interaction. *Crop. Sci.*, 42: 489-496.
- Gauch Jr, H.G. and R.W. Zobel. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop. Sci.*, 37: 311-326.
- Gregorio G.B., J.D. Hass, JL Beard, LE.Murray, AM del Mundo and A. Felix. 2005. Iron-biofortified rice improves the iron store of nonanemic Fillipino women. *J. Nutr.*, 135: 2823-2830.
- Ma, B.L., W. Yan., L.M. Dwyer., J. Fregeau-Reid, H.D. Voldeng, Y. Dion, and H. Nass. 2004. Graphic Analysis of genotype, environment, nitrogen fertilizer, and their interactions on spring wheat yield. *Agron. J.*, 96: 169-180.
- Samonte, S.O.P.B., L.T. Wilson, A.M. McClung, and J.C. Medley. 2005. Targeting cultivar onto rice growing environment using AMMI and SREG GGE Biplot Analysis. *Crop Sci.*, 45: 2414-2424.
- Shafii, B. and W.J. Price. 1998. Analysis of genotype-by-environment interaction using additive main effects and multiplicative interaction model and stability estimates. *J.Agric. Biol. Environ. Stat.*, 3: 335-345.
- Yan, W., L.A. Hunt., Q. Sheng, and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE Biplot. *Crop. Sci.*, 40: 507-605.
- Yan, W., P.L. Cornelius, J. Crossa, and L.A. Hunt. 2001. Two types of gge biplot for analyzing multi-environment trial data. *Crop. Sci.*, 41: 656-663.
- Yan, W. 2001. GGE Biplot – a windows application for graphical analysis of multienvironment trial data and other types of two-way data. *Agron. J.*, 93: 1111-1118.
- Yan, W. 2002. Singular value partitioning in biplot analysis of multienvironment trial data. *Agron. J.*, 94 : 990- 996.

- Yan, W. and L.A. Hunt. 2002. Biplot analysis of diallel data. *Crop Sci.*, 42: 21-30.
- Yan, W., and I. Racjan. 2002. Biplot analysis of test site and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci.* 42: 11- 20.
- Yan, W., and M.S. Kang. 2003. *GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticist, and agronomists.* CRS PRESS. Boca Raton, FL.
- Zobel, R.W., M.J. Wright, and H.G. Gauch Jr. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.*, 80: 388-393.