

ANALISIS STABILITAS HASIL GENOTIPE KEDELAI MENGGUNAKAN METODE *ADDITIVE MAIN EFFECT AND MULTIPLICATIVE INTERACTION* (AMMI)

Genotype Stability Analysis of Soybean Using Additive Main Effect and Multiplicative Interaction (AMMI) Methods

Ayda Krisnawati¹, Panjisakti Basunanda², Nasrullah², dan M. Muchlish Adie¹

¹. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, Jl. Raya Kendalpayak km 8, PO Box 66 Malang 65101, Indonesia

². Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada

Telp. (0341) 801468 Fax. (0341) 801496

E-mail: my_ayda@yahoo.com

(Makalah diterima, 25 November 2015 – Disetujui, 3 Juni 2016)

ABSTRAK

Varietas ideal memiliki yang konsistensi hasil tinggi pada beragam lingkungan. Penelitian bertujuan untuk menilai stabilitas galur-galur harapan kedelai menggunakan metode AMMI. Sebanyak delapan galur kedelai (G100H/SHRW-60-38, SHRW-60/G100H-73, SHRW-60/G100H-68, SHRW-60/G100H-66, G100H/SHRW-34, SHRW-60/G100H-5, SHRW-60/G100H-70, SHRW-60/G100H-750) dan dua varietas pembanding (Kaba dan Wilis) diuji pada enam lokasi lahan sawah di sentra produksi kedelai (Yogyakarta, Banyuwangi, dan Lombok Barat) pada tahun 2011. Rancangan pada tiap lokasi penelitian adalah acak kelompok lengkap dengan empat ulangan. Setiap genotipe ditanam percobaan pada petak berukuran 2,8 m × 4,5 m, jarak tanam 40 cm × 15 cm, dua tanaman per rumpun. Penilaian adaptasi dan stabilitas galur-galur yang diuji menggunakan metode AMMI. Analisis ragam menunjukkan hasil biji kedelai nyata dipengaruhi oleh genotipe dan interaksi genotipe × lingkungan. Pemecahan nilai jumlah kuadrat G×E melalui analisis AMMI menghasilkan PC1 sebagai komponen utama interaksi yang nyata dengan jumlah kuadrat interaksi yang berkontribusi sebesar 66,07%. Penilaian stabilitas berdasar biplot AMMI1 menunjukkan genotipe G5 dan G1 lebih stabil. Genotipe G5 (G100H/SHRW-34) paling stabil namun potensi hasilnya di bawah rata-rata. Genotipe G1 (G100H/SHRW-60-38) mempunyai potensi hasil tertinggi dan stabil, sehingga berpeluang diusulkan untuk dilepas sebagai varietas unggul baru kedelai.

Kata kunci: kedelai, hasil biji, stabilitas, AMMI

ABSTRACT

An ideal soybean cultivar is the one that achieves the greatest yield consistently across many environments regardless of environmental conditions. The objective of this experiment was to determine the soybean seed yield stability by AMMI method. A total of ten soybean genotypes, which consisted of eight soybean promising lines (G100H/SHRW-60-38, SHRW-60/G100H-73, SHRW-60/G100H-68, SHRW-60/G100H-66, G100H/SHRW-34, SHRW-60/G100H-5, SHRW-60/G100H-70, and SHRW-60/G100H-75) and two soybean check varieties (Kaba and Wilis) was evaluated at six soybean production centers in Yogyakarta, Banyuwangi and West Nusa Tenggara during 2011. The field experimental design for each location was completely randomized design with four replicates. Each genotype was planted on 2.4 m x 4.5 m plot size, 40 cm x 15 cm plant distance, with 2 plants/hill. Stability analysis on seed yield was based on the AMMI method. The combined analysis showed that the genotype and GEI were highly significant for seed yield. The AMMI of the first significant interaction principal component (PC1) accounted for 66.07% of the total variation. Based on AMMI1 biplot, G1 (G100H/SHRW-60-38) and G5 (G100H/SHRW-34) showed higher yield stability. However, the most stable genotype (G5) produced low yield. The other stable genotype (G5) showed highest soybean yield, and therefore it is proposed to be released as a new improved soybean variety.

Key words: soybean, seed yield, stability, AMMI

PENDAHULUAN

Keragaan tanaman bergantung kepada faktor genotipe dan lingkungan tanaman tersebut tumbuh, serta interaksi antara genotipe dan lingkungan. Di Indonesia, tanaman kedelai dibudidayakan pada berbagai agroekologi, sehingga mengakibatkan munculnya interaksi antara genotipe dan lingkungan (GEI, *genotype by environment interaction*) akibat respon tanaman yang spesifik terhadap lingkungan yang beragam. GEI didefinisikan oleh Yang dan Baker (1991) sebagai perbedaan yang tidak tetap antara genotipe-genotipe yang ditanam dalam satu lingkungan dengan lingkungan yang lain. Interaksi tersebut penting diketahui karena dapat menghambat kemajuan seleksi (Eberhart dan Russell, 1966; Crossa *et al.*, 1990; Kang, 1998) dan seringkali menyulitkan pengambilan kesimpulan secara sah jika suatu percobaan genotipe dalam kisaran lingkungan yang luas (Nasrullah, 1981).

Uji adaptasi merupakan kegiatan dalam tahap pemuliaan tanaman untuk mengkaji interaksi genotipe dan lingkungan (GEI). Kajian ini merupakan salah satu tema penting dalam pemuliaan tanaman karena keluarannya dipakai untuk menilai dan menyeleksi genotipe-genotipe yang keragaannya stabil pada berbagai lingkungan berbeda (stabilitas) atau beradaptasi baik pada suatu lingkungan spesifik (Hadi dan Sa'diyah, 2004). Dalam agronomi, stabilitas adalah kemampuan tanaman untuk mempertahankan potensi hasil atas perubahan kondisi lingkungan (Tollenaar dan Lee, 2002).

Stabilitas dibedakan menjadi dua, yaitu stabilitas statis dan dinamis. Stabilitas statis ialah kemampuan suatu genotipe mempertahankan daya hasil secara tetap pada berbagai lingkungan, sedangkan stabilitas dinamis adalah kemampuan suatu genotipe menyesuaikan daya hasil berdasarkan kisaran tertentu pada lingkungan yang berbeda-beda (Becker dan Léon, 1988; Lin *et al.*, 1986). Menurut konsep statis, stabilitas maksimum terjadi apabila hasil suatu genotipe konstan pada lingkungan yang berbeda-beda (homeostasis). Menurut konsep dinamis, suatu genotipe dianggap stabil apabila penampilannya pada lingkungan yang berbeda mendekati yang diharapkan dari potensi suatu lingkungan. Stabilitas maksimum terjadi jika perbedaan antara hasil genotipe dan indeks lingkungan (rata-rata hasil genotipe yang diuji) konstan terhadap lingkungan. Oleh karena itu, mengacu kepada konsep dinamis, tujuan pemuliaan genotipe yang stabil dapat diartikan meminimalisasi GEI (Piepho, 1996).

Aplikasi berbagai metode statistika untuk mendeskripsikan GEI dan stabilitas telah banyak dibuat. Metode statistik diawali dengan *Analysis of Variance* (Anova) dan selanjutnya adalah model regresi linier dan metode berbasis statistika multivariat (AMMI dan GGE).

Anova merupakan cara klasik untuk menganalisis ragam hasil total untuk percobaan yang melibatkan genotipe sebanyak i , yang diukur pada sejumlah j lingkungan dengan k ulangan. Regresi linear mengukur hubungan antara rata-rata hasil suatu genotipe dan rata-rata hasil lingkungan atau indeks lingkungan. Metode analisis stabilitas Eberhart dan Russell telah digunakan sejak tahun 1960-an hingga sekarang. Namun metode ini memiliki kelemahan, yaitu penggunaan rata-rata hasil sebagai regresor yang melanggar asumsi metodologi regresi. Indeks lingkungan sebagai parameter independen dihitung sebagai rata-rata dalam lingkungan. Dengan demikian, parameter tersebut tidak independen karena nilainya diekstraksi dari set data keseluruhan (peubah yang diregresikan tidak bebas) (Nasrullah, 1981). Sumertajaya (2007) menambahkan, pendekatan melalui model regresi hanya menjelaskan komponen linear dari pengaruh interaksi, sehingga akan menyisakan keragaman interaksi yang cukup besar apabila pola GEI tidak linear. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan lain untuk memperoleh gambaran secara luas dari struktur data faktorial atau pola hubungan antara lingkungan dan genotipe dengan mengeliminasi kelemahan-kelemahan yang terdapat pada sidik ragam, yaitu menggunakan metode berbasis statistika multivariat, seperti dekomposisi nilai tunggal (*Singular Value Decomposition*, SVD), salah satunya adalah AMMI (*Additive Main Effect and Multiplicative Interaction*) (Zobel *et al.*, 1998; Gauch, 1992).

Model analisis AMMI menggabungkan Anova untuk memilah parameter aditif dan PCA (*Principal Component Analysis*/analisis komponen utama) untuk memilah parameter multiplikatif (interaksi) ke dalam model analisis tunggal. Parameter yang digunakan adalah komponen-komponen utama (*principal component*, PC) yang memilah suku interaksi dalam model (Gauch dan Zobel, 1996). Tiap PC tersusun dari tiga komponen, yaitu nilai singular/penciri, vektor penciri (*eigenvector*) genotipe, dan vektor penciri (*eigenvector*) lingkungan. Hasil analisis AMMI disajikan dalam bentuk grafik, sehingga mudah dipahami dan diinterpretasikan (Crossa, 1990; Yan *et al.*, 2000; Yan dan Kang, 2003; Ma *et al.*, 2004; Samonte *et al.*, 2005). Metode AMMI sangat efektif menjelaskan GEI melalui tingginya keakuratan dugaan respons GEI. Selain itu, visualisasi biplot mampu menginterpretasikan data uji adaptasi dengan menunjukkan interaksi genotipe dengan lokasi, sehingga terbentuk pola sebaran titik-titik genotipe dengan kedudukan relatifnya pada lokasi dimana hasil penguraian nilai singular diplotkan antara satu komponen genotipe dengan komponen lokasi secara simultan (Sujiprihati *et al.*, 2006).

Penerapan metode analisis AMMI pada berbagai komoditas tela banyak dilakukan. Hasil penelitian

Gulluoglu *et al.* (2011) terhadap 10 genotipe kedelai (termasuk empat kultivar pembanding) di tiga lokasi mendapatkan tiga genotipe yang stabil. Kajian Rasyad dan Idwar (2010) mendapatkan interaksi genetik $\times$ lingkungan berpengaruh nyata pada hasil biji kedelai. Penggunaan metode AMMI untuk menilai kestabilan juga dilakukan pada komoditas lain seperti tomat (Dewi *et al.*, 2015), cabai (Ganefianti *et al.*, 2009), dan gandum (Mohamed, 2013).

Informasi mengenai stabilitas suatu genotipe dan GEI sangat penting diketahui, terutama dalam menentukan varietas yang lebih tepat untuk dikembangkan di suatu lingkungan, meskipun petani umumnya lebih tertarik mengembangkan varietas yang menunjukkan konsistensi hasil (stabil) dan adaptasi yang luas karena akan memberikan hasil yang relatif tetap bila ditanam pada berbagai lingkungan. Pengujian stabilitas galur-galur kedelai yang akan dilepas sebagai varietas unggul di Indonesia yang dikemukakan dalam proposal pelepasan varietas selama ini menggunakan metode Eberhart dan Russell (Adie *et al.*, 2002; 2006; Suhartina *et al.*, 2011; Nugrahaeni *et al.*, 2015). Oleh karena itu, interpretasi dan pemanfaatan informasi GEI melalui metode AMMI sebagai alternatif dalam pengujian stabilitas dan adaptabilitas galur-galur harapan kedelai dinilai penting dalam proses pelepasan varietas unggul. Tujuan

penelitian adalah untuk menilai stabilitas galur-galur harapan kedelai menggunakan metode AMMI.

MATERI DAN METODE

Bahan penelitian adalah 10 genotipe kedelai yang terdiri dari delapan galur kedelai (G100H/SHRW-60-38, SHRW-60/G100H-73, SHRW-60/G100H-68, SHRW-60/G100H-66, G100H/SHRW-34, SHRW-60/G100H-5, SHRW-60/G100H-70, SHRW-60/G100H-75) dan dua kultivar pembanding (varietas Kaba dan Wilis). Penelitian dilaksanakan pada tahun 2011 pada enam lokasi lahan sawah di sentra produksi kedelai (Yogyakarta, Banyuwangi, dan Lombok Barat), masing-masing dua lokasi. Rancangan percobaan tiap lokasi adalah acak kelompok lengkap dengan empat ulangan. Setiap genotipe ditanam pada petak berukuran 2,8 m $\times$ 4,5 m, jarak tanam 40 cm $\times$ 15 cm, dua tanaman per rumpun. Pemupukan menggunakan 50 kg urea, 100 kg SP36 dan 75 kg KCl/ha, diberikan secara sebar merata sebelum tanam. Pemeliharaan tanaman meliputi penyiangan dan pengendalian hama penyakit secara intensif. Karakteristik lingkungan uji adaptasi dan kode genotipe masing-masing tersaji pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik lingkungan uji adaptasi 10 genotipe kedelai, 2011

No	Kode	Lokasi pengujian	Jenis tanah	Jenis lahan	Tipe iklim	Ketinggian tempat (mdpl)
1	E1	Desa Sumberharjo, Sleman	Regosol Kelabu	Sawah	C3	86
2	E2	Desa Jogotirto, Sleman	Regosol Kelabu	Sawah	C3	86
3	E3	Desa Gambiran, Banyuwangi	Asosiasi Latosol Coklat	Sawah	D2	168
4	E4	Desa Grajakan, Banyuwangi	Asosiasi Latosol Coklat	Sawah	D2	168
5	E5	Desa Sesele, Lombok Barat	Regosol Kelabu	Sawah	C3	24
6	E6	Desa Senteluk, Lombok Barat	Regosol Kelabu	Sawah	C3	24

Tabel 2. Kode galur dan varietas dalam uji adaptasi 10 genotipe kedelai, 2011

No	Kode	Genotipe
1	G1	G100H/SHRW-60-38
2	G2	SHRW-60/G100H-73
3	G3	SHRW-60/G100H-68
4	G4	SHRW-60/G100H-66
5	G5	G100H/SHRW-34
6	G6	SHRW-60/G100H-5
7	G7	SHRW-60/G100H-70
8	G8	SHRW-60/G100H-75
9	G9	Kaba
10	G10	Wilis

Penilaian adaptasi dan stabilitas galur-galur yang diuji menggunakan metode AMMI. Analisis varians model AMMI disajikan pada Tabel 3.

Model analisis varians adalah:

$$Y_{ijr} = \mu + g_i + e_j + g_j + \varepsilon_{ijr}$$

Y_{ijr} = nilai genotipe ke-i, pada ulangan ke-r, pada lingkungan ke-j,

μ = rata-rata umum,

g_i = efek genotipe ke-i,

e_j = efek lingkungan ke-j,

$(ge)_{ij}$ = efek interaksi lingkungan ke-j, pada genotipe ke-i

ε_{ijr} = sesatan.

Pemodelan Analisis AMMI

Langkah awal analisis AMMI adalah melihat pengaruh aditif genotipe dan lokasi masing-masing menggunakan analisis varians dan kemudian dibuat bentuk multiplikatif interaksi genotipe $\times$ lokasi menggunakan analisis komponen utama. Bentuk multiplikatif diperoleh melalui penguraian interaksi genotipe dengan lokasi menjadi komponen utama interaksi (*Interaction Principal Component/IPC*). Pemodelan Bilinier terhadap pengaruh interaksi genotipe dengan lokasi adalah sebagai berikut:

1. Menyusun pengaruh interaksi dalam bentuk matriks dimana genotipe (baris) $\times$ lokasi (kolom), sehingga matriks ini berorde $a \times b$.

$$Y = \begin{bmatrix} Y_{11} & \dots & Y_{1b} \\ \dots & \dots & \dots \\ Y_{a1} & \dots & Y_{ab} \end{bmatrix}$$

2. Melakukan penguraian bilinier terhadap matriks pengaruh interaksi:

$$Y_{ij} = \sum_{k=1}^m \sqrt{\lambda_k} \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \delta_{ge}$$

$$= \sqrt{\lambda_1 \alpha_{i1} \gamma_{j1}} + \sqrt{\lambda_2 \alpha_{i2} \gamma_{j2}} + \dots + \sqrt{\lambda_n \alpha_{in} \gamma_{jn}} + \delta_{ge}$$

Model AMMI secara lengkap adalah sebagai berikut:

$$Y_{ijr} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^m \lambda_k \alpha_k \gamma_k + \varepsilon_{ijr}$$

$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, m;$

k = banyaknya Komponen Utama Interaksi (KUI/IPC) yang nyata pada taraf 5%

m = banyaknya Komponen Utama Interaksi yang dipertahankan dalam model

Y_{ijr} = nilai genotipe ke-i, pada ulangan ke-r, pada lingkungan ke-j

μ = rata-rata umum

g_i = efek genotipe ke-i

e_j = efek lingkungan ke-j

λ_k = nilai penciri untuk komponen bilinier ke-k, dengan $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_k$

α_{ik} = elemen vektor penciri genotipe

γ_{jk} = elemen vektor penciri lingkungan, dan

ε_{ijr} = sesatan

Penghitungan Jumlah Kuadrat

Pengaruh ganda perlakuan (genotipe) dan lingkungan pada interaksi diduga dengan:

$$z_{ij} = \bar{y}_{ij} - \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{.j.} + \bar{y}_{...}$$

Tabel 3. Analisis varians model AMMI

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hitung
Genotipe (G)	$g - 1$	JK_g	KT_g	
Lingkungan (E)	$e - 1$	JK_e	KT_e	
$G \times E$	$(g - 1)(e - 1)$	JK_{gxe}	KT_{gxe}	
PC ₁	$g+e - 1 - 2$	JK_{PC_1}	KT_{PC_1}	KT_{PC_1}/KT_{er}
PC ₂	$g+e - 1 - 4$	JK_{PC_2}	KT_{PC_2}	KT_{PC_2}/KT_{er}
PC ₃	$g+e - 1 - 6$	JK_{PC_3}	KT_{PC_3}	KT_{PC_3}/KT_{er}
.....				
PC _x	$g+e - 1 - 2(x)$	JK_{PC_x}	KT_{PC_x}	KT_{PC_x}/KT_{er}
Error		JK_{er}	KT_{er}	

Keterangan: g = jumlah genotipe; e = jumlah lingkungan; er = error/sesatan; x = jumlah sumbu PC ke-x dengan $x = 1, 2, \dots, X$; db = Derajat bebas; JK = Jumlah Kuadrat; KT = Kuadrat Tengah; PC = *Principal Component* (Komponen Utama).

sehingga jumlah kuadrat interaksi dapat diturunkan sebagai berikut:

$$JK(GE) = r \sum_{i,j} z_{ij}^2 = r \sum (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{.j.} + \bar{y}_{...})^2$$

Apabila analisis dilakukan terhadap rata-rata tiap genotipe $\times$ lingkungan, maka jumlah kuadrat untuk pengaruh interaksi komponen ke- k adalah akar ciri ke- k pada pemodelan bilinear. Namun, apabila analisis ragam dilakukan terhadap data sebenarnya, maka jumlah kuadratnya adalah banyak ulangan dikalikan akar ciri ke- k ($r\lambda_k$). Pengujian masing-masing komponen dilakukan dengan membandingkannya terhadap kuadrat tengah galat gabungan (Gauch, 1992).

Penentuan banyaknya komponen AMMI

Metode yang digunakan dalam menentukan banyaknya komponen utama interaksi (KUI/IPC) terdiri dari metode keberhasilan ramalan (*Predictive Success*) dan metode keberhasilan total (*Postdictive Success*) (Mattjik dan Sumertajaya, 2002). Penelitian ini menggunakan metode keberhasilan total, dengan mendasarkan pada banyaknya sumbu KUI/IPC yang nyata pada uji F.

Interpretasi Model AMMI

Hasil analisis AMMI diinterpretasikan dalam bentuk biplot. Biplot pada analisis AMMI berupa biplot AMMI1 dan AMMI2. Biplot AMMI1 merupakan biplot antara nilai komponen utama pertama (PC1) dengan rata-rata respon, menggambarkan respon perlakuan terhadap lingkungan tertentu. Genotipe dan lingkungan yang memiliki tanda PC1 yang sama menandakan interaksi positif, dan sebaliknya jika tandanya berbeda. Biplot AMMI2 adalah biplot antara nilai komponen utama kedua (PC2) dengan nilai komponen utama pertama (PC1), menggambarkan pengaruh interaksi antara genotipe dan lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis varians gabungan untuk menentukan pengaruh lingkungan (E), genotipe (G) dan GEI terhadap hasil biji kedelai (Tabel 4) menunjukkan hasil biji kedelai nyata dipengaruhi oleh genotipe dan interaksi genotipe $\times$ lingkungan. Lingkungan yang tidak berpengaruh nyata terhadap hasil biji kedelai menunjukkan bahwa enam lokasi pengujian relatif homogen. Hal ini senada dengan penelitian Carvallho *et al.* (2002) yang menunjukkan keragaman genetik dan GEI berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan dan komponen hasil kedelai. Sebaliknya, lokasi penanaman tidak memberikan pengaruh nyata terhadap perbedaan kedua sifat tersebut. Pada penelitian ini, meskipun lingkungan pengujian menunjukkan cakupan wilayah yang tidak terlalu luas, namun terdapat GEI, karena masing-masing genotipe memiliki adaptasi spesifik terhadap lingkungan makro yang berbeda. Dalam pengujian genotipe-genotipe unggul harus memperhatikan aspek GEI (Bachaki, 1976), sebagai indikator dalam mengukur stabilitas suatu genotipe, karena stabilitas penampilan pada suatu kisaran lingkungan tergantung dari besarnya GEI (Nasrullah, 1981). Jika tidak terjadi GEI, penentuan genotipe terbaik adalah melalui pemeringkatan, yaitu pemilihan genotipe-genotipe harapan yang memiliki rata-rata hasil yang lebih tinggi. Timbulnya GEI akan menyebabkan terjadinya perubahan keunggulan relatif dari masing-masing genotipe yang diuji dari satu lingkungan ke lingkungan lainnya.

Hasil biji kedelai nyata dipengaruhi oleh genotipe dan GEI (Tabel 4). Hal ini mengindikasikan setiap genotipe memiliki batas adaptasi, dengan kata lain gagalnya setiap genotipe untuk tampil konsisten baik, khususnya hasil biji, pada semua lingkungan pengujian. Adanya GEI yang nyata juga ditemukan pada sebagian besar pengujian sejumlah genotipe kedelai di berbagai lingkungan (Alghamdi, 2004; Arsyad dan Nur, 2006; Jandong *et al.*, 2011; Tukamuhabwa *et al.*,

Tabel 4. Anova Gabungan Genotipe, Lingkungan dan Interaksi Genotipe x Lingkungan

Sumber keragaman	db	JK	KT	Pr > F
Lingkungan (E)	5	1,39349	0,27869 tn	0,0884
Ulangan (Lingkungan)	18	5,91271	0,32848 **	0,0032
Genotipe (G)	9	6,19391	0,68821 **	<,0001
G x E	45	11,38687	0,25304 **	0,0052
Error	162	23,11780	0,14270	
Total	239	48,00479		

db = derajat bebas, JK = Jumlah Kuadrat, KT = Kuadrat Tengah, ** = berbeda nyata pada $p=0.01$; tn = tidak nyata, koefisien keragaman = 13,81%.

Tabel 5. Analisis varians model AMMI

Sumber keragaman	db	JK	KT	P > F
G × E	45	11,38687	0,25304**	0,0052
PC1	13	7,52408	0,57878**	0,00001
PC2	11	1,75355	0,15941tn	0,35105
Residual	21	2,10923	0,29755	

db = derajat bebas, JK = Jumlah Kuadrat, KT = Kuadrat Tengah, ** = nyata pada taraf probabilitas 1% ($p < 0,01$); tn = tidak nyata, PC1 = Komponen Utama 1, PC2 = Komponen Utama 2.

Tabel 6. Skor PC genotipe dan rata-rata hasil di enam lingkungan pengujian

Genotipe	Rerata hasil (t/ha)	PC1	PC2	PC3
G1	3,00	0,11041	0,22307	0,03988
G2	2,69	0,29652	-0,36163	-0,38539
G3	2,62	-0,68915	-0,08689	0,13345
G4	2,70	-0,22078	-0,27125	-0,21357
G5	2,62	-0,03638	0,39398	-0,25414
G6	3,01	0,40174	0,08252	0,00799
G7	2,57	-0,59060	0,19530	-0,02018
G8	2,84	0,44105	0,29021	0,11262
G9	2,74	0,15817	-0,29507	0,20223
G10	2,53	0,12902	-0,17025	0,37711

PC = Komponen Utama, kode genotipe mengacu pada Tabel 2

2012). Menurut Vargas *et al.* (1998), GEI yang nyata berpengaruh terhadap ekspresi tanaman, yang berarti genotipe yang sama dapat memberikan respon produksi yang berbeda pada lingkungan yang berbeda.

Varian GEI memiliki pengaruh varian yang paling besar yaitu 23,7%; sedangkan varian genotipe memiliki kontribusi 12,9%, dan varian lingkungan berkontribusi 15,2% dari total keragaman. Nilai koefisien keragaman adalah 13,81%. Menurut Sousa *et al.* (2015), selain menunjukkan keragaman data, koefisien keragaman juga menunjukkan tingkat presisi dalam penelitian dan pengendalian faktor lingkungan. Tinggi dan rendahnya nilai koefisien keragaman bergantung kepada jenis percobaan, tanaman yang digunakan, dan karakter yang diukur (Gomez dan Gomez, 1995). Adanya GEI yang nyata menunjukkan pengujian stabilitas layak dilakukan, yaitu dengan analisis ragam AMMI (Tabel 5). Pemecahan nilai jumlah kuadrat G×E melalui analisis AMMI menghasilkan lima komponen utama interaksi (PC), dengan komponen utama interaksi PC1. Hal yang selaras didapatkan oleh Oliviera *et al.* (2003) pada 18 genotipe kedelai yang diuji di 11 lokasi, dan Rocha *et al.* (2004) pada hasil biji 27 genotipe kedelai di tiga lokasi selama empat tahun pengujian.

Nilai komponen interaksi yang memperlihatkan signifikansi adalah PC1, dengan jumlah kuadrat interaksi yang berkontribusi 66,07%. Fakta ini menjelaskan

komponen utama pertama (PC1) tersebut telah mampu menerangkan varian pengaruh GEI sebesar 66,07,1% pada derajat bebas 13. Artinya peran komponen utama lainnya dapat diabaikan. Penggunaan model AMMI dinilai lebih baik dan akurat karena mendekati nilai pengamatan yang sebenarnya (Samonte *et al.*, 2005; Idris dan Baharudin, 2015). Komponen utama AMMI yang nyata berdasarkan metode keberhasilan total (*Postdictive Success*) adalah komponen utama pertama (PC1). Dengan demikian, konstruksi biplot antara nilai skor PC1 (ordinat) dan nilai rata-rata hasil biji kedelai (absis) dapat digunakan untuk mengeksplorasi GEI melalui model AMMI1 (Gauch, 1992; Gauch dan Zobel, 1996, Kaya *et al.*, 2002).

Nilai PC1 dan PC2 genotipe dan lingkungan bervariasi (Tabel 6 dan Tabel 7). Genotipe yang mempunyai skor PC1 > 0 mempunyai respon positif (beradaptasi baik) terhadap lingkungan yang memiliki nilai PC1 > 0, namun menunjukkan respon negatif terhadap lingkungan yang memiliki nilai PC1 < 0 dan sebaliknya (Samonte *et al.*, 2005). Sebagai contoh, genotipe G1, G2, G6, G8, G9, dan G10 yang memiliki skor PC1 genotipe > 0 (Tabel 6) akan beradaptasi baik pada lingkungan E1, E2, dan E5 yang memiliki skor PC1 lingkungan > 0 (Tabel 7) dan kurang dapat beradaptasi dengan baik pada lingkungan E3, E4, dan E6. Berarti genotipe G1, G2, G6, G8, G9, dan G10 cenderung memberikan hasil tertinggi, melebihi genotipe-genotipe yang lain jika ditanam di lokasi E1,

E2, dan E5. Sebaliknya, produksi cenderung lebih rendah jika ditanam pada lokasi E3, E4, dan E6 (Tabel 8).

Klasifikasi stabilitas genotipe dapat dikelompokkan ke dalam genotipe stabil dan spesifik lingkungan. Genotipe stabil memiliki daya adaptasi tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan, sedangkan genotipe spesifik lingkungan hanya menunjukkan respon baik pada kondisi lingkungan tertentu (Suwanto, 2010). Adaptabilitas dan stabilitas galur-galur kedelai dapat diketahui melalui grafik biplot (Vargas dan Crossa, 2000), sedangkan kestabilan atau adaptabilitas suatu genotipe terhadap lingkungan ditunjukkan oleh skor PC genotipe (Gauch dan Zobel, 1996; Duarte dan Vencovsky, 1999). Pada grafik biplot AMMI1 (Gambar 1), sumbu y (PC1) menggambarkan perbedaan pengaruh interaksi atau perbedaan kepekaan terhadap lingkungan, yang berarti menggambarkan stabilitas. Genotipe yang memiliki nilai absolut PC1 yang lebih rendah akan menghasilkan efek GEI yang lebih rendah dibandingkan dengan genotipe yang memiliki nilai absolut PC1 yang lebih tinggi, dan genotipe tersebut memiliki hasil biji yang kurang bervariasi (lebih stabil) pada berbagai lingkungan (Samonte *et al.*, 2005; Tarakanovas dan Ruzgas, 2006).

Gambar 1 dan Tabel 6 menunjukkan G5 mempunyai nilai PC1 (0,03638) yang lebih rendah dibanding G1

(0,11041), sehingga G5 lebih stabil dibanding G1. Peringkat kestabilan genotipe berdasarkan nilai absolut PC1 disajikan pada Tabel 9. Berdasarkan peringkat kestabilan genotipe, G1 dan G5 menunjukkan kestabilan hasil biji yang lebih tinggi dibanding varietas pembanding Kaba (G9) dan Wilis (G10).

Sumbu x menggambarkan rata-rata hasil biji, sumbu y (PCA1) menggambarkan perbedaan pengaruh interaksi (stabilitas). Genotipe/lingkungan yang memiliki nilai absolut PC1 yang lebih rendah menghasilkan efek GEI yang lebih rendah dibanding genotipe/lingkungan yang memiliki nilai absolut PC1 yang lebih tinggi.

Pemilihan suatu genotipe unggul didasarkan pada hasil bijinya. Namu genotipe yang memiliki hasil biji tinggi dan stabil merupakan genotipe terbaik. Pada penelitian ini, genotipe yang memiliki hasil biji di atas rata-rata adalah G1, G6, serta G8 dan G9 (varietas pembanding). Namun, genotipe G6 dan G8 yang berdaya hasil di atas rata-rata ternyata memiliki peringkat kestabilan yang kurang bagus. Satu-satunya genotipe yang memiliki kestabilan yang lebih tinggi dan sekaligus hasil biji yang nyata lebih tinggi daripada varietas pembanding adalah G1, sehingga dapat dikatakan sebagai genotipe terbaik (G100H/SHRW-60-38).

Tabel 7. Skor PC Lingkungan dan rata-rata hasil kedelai di enam lingkungan pengujian

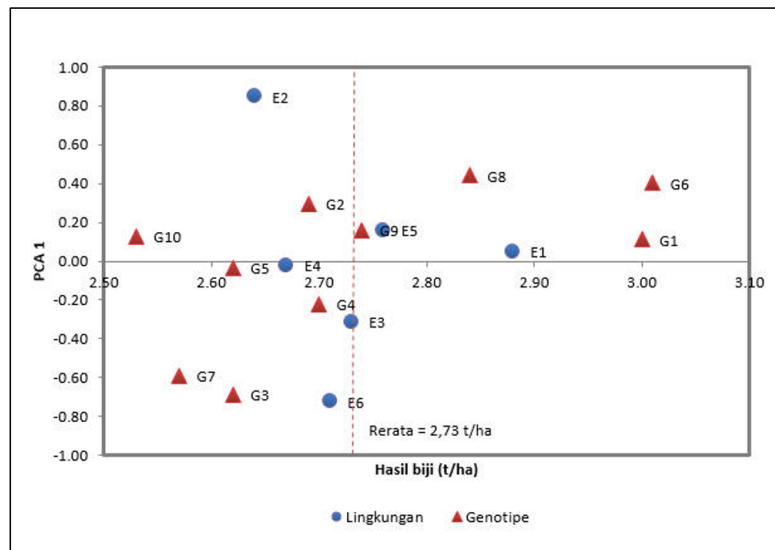
Lingkungan	Rata-rata hasil (t/ha)	PC1	PC2	PC3
E1	2,88	0,05094	0,55654	-0,20068
E2	2,64	0,84825	-0,00616	-0,08464
E3	2,73	-0,31341	0,15702	-0,00807
E4	2,67	-0,02278	0,00119	0,61301
E5	2,76	0,16130	-0,55004	-0,15588
E6	2,71	-0,72430	-0,15855	-0,16374

PC = Komponen utama, kode lingkungan mengacu pada Tabel 3

Tabel 8. Rata-rata hasil biji 10 genotipe kedelai pada enam lingkungan pengujian

Genotipe	Rerata (t/ha)	Hasil biji (t/ha)					
		E1	E2	E3	E4	E5	E6
G1	3,01	3,14	3,08	3,23	2,91	2,87	2,83
G2	2,69	2,73	2,86	2,58	2,38	3,05	2,54
G3	2,62	2,74	1,78	2,87	2,66	2,72	2,93
G4	2,70	2,71	2,47	2,71	2,52	2,85	2,95
G5	2,63	3,11	2,47	2,63	2,43	2,52	2,60
G6	3,01	3,23	3,29	2,81	2,96	3,03	2,75
G7	2,58	2,73	2,12	2,71	2,52	2,27	3,11
G8	2,84	3,22	3,03	2,73	2,86	2,86	2,37
G9	2,74	2,68	2,79	2,60	2,80	2,90	2,66
G10	2,53	2,52	2,54	2,42	2,71	2,60	2,42
Rerata (t/ha)	2,74	2,88	2,64	2,73	2,68	2,76	2,72

Kode lingkungan (E) mengacu pada Tabel 1. Kode galur (G) mengacu pada Tabel 2



Gambar 1. Biplot AMMI1 dari rata-rata hasil biji dan PC1 genotipe dan lingkungan

Tabel 9. Peringkat kestabilan genotipe kedelai berdasarkan nilai absolut PC1

No.	Nilai absolut PC1	Peringkat kestabilan	Genotipe
1	0,03638	1	G5
2	0,11041	2	G1
3	0,12902	3	G10
4	0,15817	4	G9
5	0,22078	5	G4
6	0,29652	6	G2
7	0,40174	7	G6
8	0,44105	8	G8
9	0,90600	10	G7
10	0,68915	9	G3

Keterangan: PC = Komponen utama, kode genotipe mengacu pada Tabel 2

Pada penelitian ini, metode AMMI menyajikan hasil analisis yang mudah dipahami dan diinterpretasikan karena disajikan dalam bentuk grafik. Selain itu, metode analisis AMMI bersifat eksploratif, yaitu dapat mengambil informasi yang lebih banyak dari keragaman data yang ada. Informasi penting yang didapatkan dari metode AMMI pada penelitian ini yaitu (1) adaptabilitas genotipe pada suatu atau beberapa lingkungan, dan sekaligus ketidaksesuaian pada suatu atau beberapa lingkungan yang lain, (2) stabilitas yang didasarkan pada peringkat nilai absolut PC1, (3) grafik biplot yang secara visual dapat menampilkan informasi daya hasil, adaptabilitas, dan stabilitas (biplot AMMI1). Penggunaan metode analisis AMMI pada kedelai telah dilaporkan oleh Suwanto (2010) dalam identifikasi stabilitas hasil dan adaptabilitas varietas kedelai, dan menyimpulkan bahwa analisis model AMMI menggambarkan pola interaksi suatu genotipe dengan lingkungan, kesesuaian suatu genotipe dengan suatu lingkungan, nilai nominal hasil suatu genotipe pada suatu lingkungan, stabilitas suatu genotipe, adaptabilitas genotipe, dan pola hubungan lingkungan dengan genotipe. Informasi daya

hasil dan stabilitas genotipe kedelai sangat bermanfaat untuk diketahui, terutama bagi petani untuk menentukan varietas atau galur yang lebih tepat untuk dikembangkan di suatu lingkungan. Berdasarkan uraian di atas, maka AMMI dapat digunakan sebagai metode pengujian stabilitas dan adaptabilitas galur-galur harapan untuk keperluan pelepasan varietas unggul kedelai.

KESIMPULAN

Varian $G \times E$ berkontribusi lebih besar terhadap varian pada hasil biji kedelai dibandingkan dengan varian galur dan lingkungan. Metode AMMI mampu memetakan derajat kestabilan sejumlah galur kedelai menjadi galur yang stabil dan tidak stabil. Penilaian stabilitas berdasar biplot AMMI1 menunjukkan genotipe G100H/SHRW-34 (G5) dan G100H/SHRW-34 (G1) lebih stabil.

Genotipe G100H/SHRW-34 merupakan genotipe yang paling stabil, namun potensi hasilnya di bawah rata-rata. Genotipe G100H/SHRW-60-38 berdaya hasil tinggi dan stabil, sehingga berpotensi diusulkan untuk dilepas sebagai varietas unggul baru kedelai. Tersedianya

varietas unggul kedelai berdaya hasil tinggi dan stabil pada kisaran lingkungan yang beragam, bermanfaat dalam penyediaan varietas sesuai preferensi pengguna, maupun sebagai sumber genetik bagi program pemuliaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Badan Litbang Kementerian Pertanian yang telah membiayai penelitian ini melalui DIPA Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi tahun anggaran 2011. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Antoni dan Arifin yang telah membantu dalam penelitian lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adie, M.M., K. Igit, Tridjaka, Suharsono, dan Arifin. 2002. Galur harapan kedelai toleran ulat grayak. Usulan Pelepasan Varietas. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Puslitbangtan, Badan Litbang Pertanian. Tidak dipublikasikan.
- Adie, M.M., G.W.A. Susanto, Suyamto, dan Arifin. 2006. Galur harapan kedelai hitam: 9837/K-D-8-185, W/9837-D-6-220, dan 9837/W-D-5-211. Usulan Pelepasan Varietas. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Puslitbangtan, Badan Litbang Pertanian. Tidak dipublikasikan.
- Alghamdi, S. S. 2004. Yield stability of some soybean genotypes across diverse environments. *Pakistan J. of Biological Sci.* 7: 2109-2114.
- Arsyad, D.M., dan A. Nur. 2006. Analisis AMMI untuk stabilitas hasil galur-galur kedelai di lahan kering masam. *Penelitian Pertanian. Tanaman Pangan* 25: 78-84.
- Baehaki, A., R.E. Stucker and J.W. Lambert. 1976. Association of genotype $\times$ environment interactions with performance level of soybean line in preliminary yield test. *Crop Sci.* 16: 718-721.
- Becker, H.C., and J. Leon. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101: 1-23.
- Carvallho, C.G.P., C.A.A. Arias, L.A. Almeida, J.F.F. de Toledo, and M.F. Oleivera. 2002. Genotype and environment interaction on soybean yield in Parana state, Brazil. *Pesq. Agropec. Bras.* 37:785-792.
- Crossa, J. 1990. Statistical analyses of multilocation trials. *Adv.Agron.* 44: 55-85.
- Crossa, J., H.G. Gauch and R.W. Zobel. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science* 30: 493-500.
- Dewi, S.M., Sobir, dan M. Syukur. 2015. Interaksi genotipe $\times$ lingkungan hasil dan komponen hasil 14 genotipe tomat di empat lingkungan dataran rendah. *J. Agron. Indonesia* 43 (1): 59-65.
- Ganefianti, D. W., D. Suryati, dan Hasannudin. 2009. Analisis stabilitas hasil enam genotipe cabai menggunakan Metode Additive Main Effect Multiplicative Interaction (AMMI). *Akta Agrosia* 12:147-154.
- Gauch, H.G. 1992. Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier Science, New York, 278p.
- Gauch, H.G., and R.W. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials. In Kang MS and Gauch HG. (Eds.). *Genotype-by-Environment Interaction*. CRC Press, Boca Raton. New York, United States of America.
- Gomez, K.A., and A.A. Gomez. 1995. Prosedur Statistik untuk Penelitian Pertanian. Edisi Kedua. UI-Press.
- Gulluoglu, L., H. Arioglu, and C. Kurt. 2011. Adaptability and stability of new soybean cultivars under double cropped conditions of Turkey. *Afric. J. of Agric. Res.* 6(14): 3320-3325.
- Hadi, A.F., dan H. Sa'diyah. 2004. Model AMMI untuk analisis interaksi galur $\times$ lokasi. *Jurnal Ilmu Dasar* 5 (1): 33-41.
- Idris dan Baharudin. 2015. Analisis data hasil pengujian multilokasi padi sawah menggunakan model AMMI. *Informatika Pertanian* 24 (1): 17-30.
- Jandong, E.A., M.I. Uguru, and B.C. Oyiga. 2011. Determination of yield stability of seven soybean genotypes across diverse soil pH levels using GGE biplot analysis. *J. Appl. Biosci.* 43: 2924-2941.
- Kang, M.S. 1998. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Adv. Agron.* 62: 199-252.
- Kaya, Y., C. Palta, and S. Taner. 2002. Additive main effects and multiplicative interactions analysis of yield performances in bread wheat genotypes across environments. *Turk J. Agric. For.* 26:275-279.
- Lin, C.S., M.R. Binns, and L.P. Lefkovich. 1986. Stability parameters: where do we stand. *Crop Sci.* 26: 894-900.
- Nugrahaeni, N., Purwantoro, G.W.A. Susanto, T. Sundari, dan Suhartina. 2015. GM 26, galur harapan kedelai umur genjah, biji besar, potensi hasil tinggi. Usulan Pelepasan Varietas. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, Puslitbangtan, Badan Litbang Pertanian. Tidak dipublikasikan.
- 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.
- Mattjik, A.A. dan I.M. Sumertajaya. 2002. Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Mohamed, N.E.M. 2013. Genotype by environment interaction for grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. of Plant Breeding and Crop Sci.* 5 (7): 150-157.
- Nasrullah. 1981. A Modified procedure for identifying varietal stability. *Agric. Sci.* 3 (4): 153- 159.

- Oliveira de A.B., J.B. Duarte, and J.B. Pinheiro. 2003. Application of AMMI analysis in the assessment of yield stability in soybean. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília 38 (3): 357-364. (Pada halaman 7 Oliveira/ Oliveira...?)
- Peterson, R.G. 1994. *Agricultural Field Experiment Design and Analysis*. Mecel Dekker. Inc. New York. (Tidak ada di teks)
- Piepho, H.P. 1996. Analysis of genotype-by-environment interaction and phenotypic stability. In Kang MS and HG Gauch Jr. (Eds.). *Genotype-by-Environment Interaction*. CRC Press, Boca Raton. New York, United States of America.
- Rasyad, A. dan Idwar. 2010. Interaksi genetik x lingkungan dan stabilitas komponen hasil berbagai genotipe kedelai di Provinsi Riau. *J. Agron. Indonesia* 38:25-29.
- Rocha, M., N.A. Vello, A.C. Lopes, and M.C.C. Maia. 2004. Yield stability of soybean lines using additive main effects and multiplicative interaction analysis - AMMI. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. Brazilian Society of Plant Breeding. Available at <http://www.cababstractsplus.org/abstracts/Abstract.aspx?AcNo=200531> (akses 9 Juni 2009).
- 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.
- Sousa, L.B., O.T. Hamawaki, A.P.O. Nogueira, R.O. Batista, V.M. Olivier a, and R.L. Hamawaki. 2015. Evaluation of soybean lines and environmental stratification using the AMMI, GGE biplot, and factor analysis methods. *Genet. Mol. Res.* 14 (4): 12660-12674.
- Suhartina, Purwantoro, N. Nugrahaeni. Suyamto, M.M. Adie, dan Arifin. 2011. DV/2984-330 dan SU-17-1014, galur harapan kedelai toleran kekeringan selama fase reproduktif. *Usulan Pelepasan Varietas*. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, Puslitbangtan, Badan Litbang Pertanian. Tidak dipublikasikan.
- Sujiprihati, S., M. Syukur, dan R. Yuniarti. 2006. Analisis stabilitas hasil tujuh populasi jagung manis menggunakan metode Additive Main Effect Multiplicative Interaction (AMMI). *Bul. Agron.* 34 (2): 93-97.
- Sumertajaya, I.M. 2007. Analisis statistik interaksi genotipe dengan lingkungan. Departemen Statistika, Fakultas Matematika dan IPA. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 33p.
- Suwarto. 2010. Analisis stabilitas hasil dan adaptabilitas menggunakan analisis AMMI (Additive Main Effect and Multiplicative Interaction). *Agronomika* 10 (1): 88-96.
- Tarakanovas, P and V. Ruzgas. 2006. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of grain yield of wheat varieties in Lithuania. *Agronomy Research* 4(1):91-98.
- Tollenaar, M and E.A. Lee. 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crop Res.* 75: 161-169.
- Tukamuhabwa, P., H. Oloka, T. Sengooba, and P. Kabayi. 2012. Yield stability of rust-resistant soybean lines at four mid-altitude tropical locations. *Euphytica* 183 (1): 1-10.
- Vargas, M., J. Crossa, K. Sayre, M. Reynolds, M. E. Ramirez, and M. Talbot. 1998. Interpreting genotype x environment interaction in wheat by Partial Least Square Regression. *Crop Sci.* 38 (3): 379 – 689.
- Vargas, M and J. Crossa. 2000. The AMMI analysis and graphing the biplot. Biometrics and Statistics Unit, CIMMYT. www.cimmyt.cgiar.org/biometrics (akses tanggal 12 Maret 2010).
- Yan, W., L.A Hunt., Q. Sheng, and Z. Szlavnics. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop. Sci.* 40: 507-605.
- 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. Pada halaman 2 Zobel et al., 1998 (1988 / 1998....?)