

Penggunaan Teknik Analisis AMMI Biplot untuk Mengenali Aksesii Wijen Tahan Salin

Firmansyah¹ Sri Adi Kadarsih² Taryono³

¹Loka Penelitian Penyakit Tungro, Jl. Poros Bulu, Lanrang, Sulawesi Selatan, 91651

²Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat, Jl. Raya Karang Ploso, Malang, Jawa Timur 65152

³Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian UGM, Jl. Bulak Sumur, Yogyakarta, 55281

E-mail: firmansyah@pertanian.go.id

Diterima: 26 Agustus 2020; direvisi: 28 Agustus 2020; disetujui: 07 September 2020

ABSTRAK

Kendala dalam produksi wijen di lahan salin yaitu salinitas yang mengakibatkan perubahan kondisi morfologi, fisiologi, biokimia dan molekuler pada tanaman. Analisis AMMI (*Additive Main Effect and Multiplicative Interaction*) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menjelaskan dan menginterpretasikan tanggapan genotipe terhadap keragaman lingkungan, mencari model yang tepat, menjelaskan interaksi antara genotipe dengan lokasi, meningkatkan keakuratan dugaan tanggapan interaksi antara genotipe dengan lokasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh salinitas terhadap bobot biji per tanaman pada enam aksesii wijen dan menentukan aksesii wijen yang stabil pada lingkungan salin dengan menggunakan analisis AMMI Biplot. Penelitian ini dilaksanakan di Rumah Kaca Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian UGM mulai bulan Maret hingga Juli 2012. Metode yang digunakan adalah rancangan acak lengkap pola faktorial dua faktor yang terdiri dari tiga ulangan. Faktor pertama enam aksesii wijen dan faktor kedua 6 konsentrasi NaCl (0 g/L, 2 g/L, 4 g/L, 6 g/L, 8 g/L dan 10 g/L). Sifat yang diamati adalah bobot biji per tanaman. Data dianalisis menggunakan metode AMMI Biplot. Hasil menunjukkan bahwa genotipe III det 36 (G2) dan Sbr 3 (G3) adalah genotipe yang stabil di lingkungan salin dengan bobot biji per tanaman di atas rerata umum sehingga berpotensi dikembangkan dilahan salin, sedangkan genotipe Lokal Hitam (G5) tergolong stabil di lingkungan salin namun dengan bobot biji per tanaman lebih rendah dari rerata umum. AMMI biplot dapat digunakan untuk mengenali aksesii wijen tahan salin.

Kata kunci: wijen, salinitas, AMMI, biplot

AMMI Biplot Analysis for Salinity Tolerance Detection in Sesame

ABSTRACT

Constraints to production of sesame in saline fields are salinity which causes changes in morphological, physiological, biochemical and molecular conditions in plants. AMMI (*Additive Main Effect and Multiplicative Interaction*) analysis is a method that can be used to explain and interpret genotypic responses to environmental diversity, find the right model, explain the interaction between genotype and location, increase the accuracy of the predicted interaction responses between genotype and location. The aim of the study was to determine the effect of salinity on seed/plant weight in six sesame accessions and determining sesame accessions that are stable in the saline environment using the AMMI Biplot. This research was conducted at Faculty of Agricultural Greenhouse, UGM from March to July 2012. The method used was a two-factor factorial completely randomized design consisting of three replications. The first factor was 6 sesame accessions and the second factor was 6 concentrations of NaCl (0 g/L, 2 g/L, 4 g/L, 6 g/L, 8 g/L and 10 g/L). The trait observed was seed weight per plant. Data were analyzed using the AMMI Biplot method. The results showed that the genotypes III det 36 (G2) and Sbr 3 (G3) were stable in the saline environment with seed/plant weights above the general average so that it has the potential genotypes to be developed in saline soil while the local black

genotypes (G5) were classified as stable in the saline environment but with seed/plant weight lower than the general average. The AMMI biplot can be used to recognize saline resistant sesame accessions

Keywords: sesame, salinity, AMMI, biplot

PENDAHULUAN

Tanaman wijen (*Sesamum indicum* L.) merupakan salah satu tanaman penghasil minyak nabati penting dunia yang penggunaannya cenderung meningkat karena bermanfaat untuk kesehatan (Banerjee and Kole, 2010). Biji ataupun minyak wijen dimanfaatkan sebagai bahan makanan ataupun dalam sektor industri berupa bahan dasar kosmetik, obat-obatan, sabun, dan insektisida. Wilayah pengembangan wijen di Indonesia antara lain berada di daerah Jawa Tengah, Jawa Timur, NTT, NTB, Sulawesi Selatan, Gorontalo dan Lampung, tetapi peningkatan kebutuhan wijen belum diimbangi dengan peningkatan produksi wijen (Adikadarsih et al., 2016).

Tanaman wijen tersebar utamanya berada di daerah kering dan ditanam pada musim penghujan. Selain itu, pengembangan tanaman wijen juga banyak dilakukan pada lahan sawah sesudah padi I (MK-I) maupun (MK-II) pada musim kemarau, seperti di Kabupaten Nganjuk, Sukoharjo, Sragen dan Ngawi (Mardjono, 2015). Usaha tani wijen dilakukan secara ekstensif, dan umumnya ditumpangсарikan dengan palawija atau padi gogo (Purwati et al., 2016). Salah satu alternatif untuk meningkatkan produksi adalah melalui penambahan luas tanam wijen dan memanfaatkan lahan marginal. Kendala pada lahan-lahan marginal salah satunya adalah salinitas yang dapat mengakibatkan perubahan kondisi morfologi, fisiologi, biokimia dan molekuler pada tanaman (Wang et al., 2003). Aksesori wijen yang ditanam pada berbagai kondisi lingkungan sering kali menunjukkan perbedaan hasil (Firmansyah et al., 2012), sehingga perlu dikenali aksesori-

aksesori wijen berdaya hasil tinggi dan stabil pada berbagai kondisi lahan utamanya lahan marginal

Penampilan nisbi dari berbagai genotipe biasanya beragam pada lingkungan yang berbeda. Hal ini menunjukkan adanya interaksi antara genotipe dengan lingkungan, sehingga menyulitkan untuk mengenali genotipe yang ideal. Menurut Yang and Baker (1991) interaksi genotipe x lingkungan sering digambarkan sebagai perbedaan yang tidak tetap di antara genotipe yang ditanam dalam satu lingkungan ke lingkungan lainnya. Macam interaksi tersebut penting diketahui karena dapat menghambat kemajuan seleksi dan sering mengganggu dalam pemilihan varietas-varietas unggul dalam suatu pengujian varietas (Eberhart & Russell, 1966). Pertumbuhan suatu genotipe tanaman merupakan fungsi dari genotipe dan lingkungan. Hal ini berarti bahwa penampilan tanaman tergantung pada genotipe, kondisi lingkungan tumbuh, dan interaksi antara genotipe dengan lingkungan (Widyastuti et al., 2013)

Analisis AMMI (*Additive Main Effect and Multiplicative Interaction*) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menjelaskan dan menginterpretasikan respon genotipe terhadap keragaman lingkungan, mencari model yang tepat, menjelaskan interaksi antara genotipe dengan lokasi, meningkatkan keakuratan dugaan respon interaksi antara genotipe dengan lokasi (Crossa, 1990). Model Analisis AMMI menggabungkan analisis varian sebagai parameter multiplikatif ke dalam model analisis tunggal. Hasil analisis disajikan dalam bentuk grafik sehingga mudah dipahami dan interpretasikan (Yan & Kang, 2002).

Metode statistika untuk mendeskripsikan GEI dengan Analisis AMMI banyak dilakukan. Menurut Krisnawati et al. (2016) Metode AMMI mampu memetakan derajat kestabilan sejumlah galur kedelai menjadi galur yang stabil dan tidak stabil. Penggunaan metode AMMI untuk menilai kestabilan juga dilakukan pada komoditas tomat (Dewi et al., 2015) dan gandum (Mohammed, 2013). Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh salinitas terhadap bobot biji pertanaman pada enam aksesi wijen dan menentukan aksesi wijen yang stabil pada lingkungan salin dengan menggunakan analisis AMMI Biplot.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Rumah Kaca Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian UGM mulai bulan Maret – Juli 2012. Metode yang digunakan adalah rancangan acak lengkap pola faktorial dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah enam aksesi wijen yaitu III Det 23 (G1), III Det 36 (G2), Sbr 3 (G3) Sbr 4 (G4), Lokal Hitam (G5) dan Lokal Putih (G6). Faktor kedua adalah konsentrasi NaCl sebagai lingkungan salin dengan perlakuan E1(0 g/L), E2 (2 g/L), E3 (4 g/L), E4 (g/L), E5 (8 g/L) dan E6 (8 g/L).

Sifat yang diamati adalah bobot biji per tanaman. Data dianalisis menggunakan metode AMMI. Model analisis AMMI menggabungkan analisis varian untuk parameter aditif dan PCA untuk parameter multiplikatif (interaksi) kedalam model analisis tunggal. Parameter yang digunakan adalah komponen-komponen utama (*principal component*, PC) yang memilah suku interaksi kedalam model (Gauch, 1988). Tiap PC tersusun dari tiga komponen, yaitu nilai singular/penciri (λ), vektor penciri (*eigenvector*) bagi genotipe (α) dan vektor penciri (*eigenvector*) bagi lingkungan (γ).

Model analisis AMMI mengurai efek interaksi (GEI) Apabila terdapat sejumlah v

genotipe yang diuji disejumlah n lingkungan, maka model respon hasil dapat dibuat sebagai berikut:

$$Y_{ijr} = \mu + g_i + e_j + br(e_j) \sum_{k=1}^t \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ijr}$$

Y_{ijr} = nilai genotipe ke- i , pada ulangan ke- r , pada lingkungan ke- j . μ = rata-rata umum, g_i = efek genotipe, e_j = efek lingkungan, $br(e_j)$ = efek dari ulangan r pada lingkungan j , λ_k = nilai penciri, α_{ik} = unsur vektor penciri genotipe, γ_{jk} = elemen vektor penciri lingkungan, ρ_{ij} = residu dan ε_{ijr} = sesatan (Gauch, 2013)

Hasil analisis AMMI ditampilkan dalam bentuk biplot hubungan antara rata-rata bobot biji dengan skor IPCA (*Interaction Principal Component Axis*). Parameter stabilitas yang digunakan adalah parameter AMMI, yaitu berdasarkan skor IPCA. Genotipe dengan skor mutlak IPCA yang lebih kecil menunjukkan bahwa genotipe tersebut lebih stabil. Sumbu x dalam AMMI1 biplot menggambarkan peran utama genotipe dan lingkungan terhadap parameter yang diamati sedangkan sumbu y (IPCA1) menggambarkan perbedaan pengaruh interaksi atau perbedaan kepekaan genotipe terhadap lingkungan, yang berarti menggambarkan stabilitas. AMMI2 biplot digunakan untuk menganalisa stabilitas (Samonte et al., 2005).

Biplot AMMI2 menduga interaksi antara genotipe dengan lingkungan yang dapat dibaca secara langsung dari biplot melalui proyeksi genotipe terhadap lingkungan. Jika proyeksi suatu genotipe terdapat pada satu lingkungan tertentu maka genotipe tersebut mempunyai interaksi positif terhadap lingkungan tersebut. Menurut Samonte et al. (2005) bahwa biplot AMMI2 dapat digunakan untuk mengidentifikasi kultivar yang mempunyai adaptasi umum dan kultivar yang mempunyai adaptasi khusus. Untuk menetapkan stabilitas suatu genotipe dengan membuat grafik $x - y$, dimana IPCA1 untuk

genotipe sebagai sumbu x dan IPCA2 untuk genotipe sebagai sumbu y. Genotipe yang stabil adalah genotipe yang berada dekat dengan titik pusat (0,0) (Neisse et al., 2018).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis sidik ragam (Tabel 1) menunjukkan bahwa genotipe, lingkungan salin dan interaksinya berpengaruh sangat

nyata terhadap bobot biji wijen per tanaman. Faktor lingkungan (kadar NaCl) memberikan kontribusi terbesar terhadap bobot biji per tanaman, yaitu 75,22 % dari total keragaman (G+E+EG), sedangkan kontribusi genotipe (G) sebesar 10,27 % dan interaksi genotipe dan lingkungan (GE) sebesar 7,47%. Dengan demikian bobot biji per tanaman wijen sangat ditentukan kondisi lingkungan. Interaksi antara lingkungan dan genotipe berpengaruh

Tabel 1. Analisis Sidik Ragam AMMI Bobot Biji/Tanaman Wijen pada Enam Lingkungan.

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Nilai F	Pr > F	Proporsi (%)	Kumulatif (%)
Lingkungan (E)	5	126,98002	25,396	153,61	<,0001	75,22*	
Genotipe (G)	5	17,31292	3,46258	20,94	<,0001	10,27*	
E X G	25	12,60417	0,50417	3,05	<,0001	7,47*	
IPCA1	9	6,98607	0,77623	4,69	0,0001	55,43+	55,43
IPCA2	7	4,37782	0,62540	3,78	0,0015	34,73+	90,16
IPCA3	5	1,14592	0,22918	1,39	0,2397	9,09+	99,25
IPCA4	3	0,09289	0,03096	0,19	0,9047	0,74+	99,99
Residu	1	0,00146	0,00146	0,01	0,9255	0,01+	100
Galat	72	11,90367					
Total	107	168,80077					

Koefisien keragaman: 23, 26 (*) Proporsi terhadap JK total, (+) Proporsi terhadap JK ExG

Tabel 2: Nilai Rerata, PC1 dan PC2, Bobot Biji/Tanaman Wijen pada Enam Lingkungan

Faktor	Kode	Rerata	IPCA1	IPCA2	
Genotipe (G)	III Det 23	(G1)	2,05944	0,89184	0,08568
	III Det 36	(G2)	1,92000	0,00050	-0,23276
	Sbr 3	(G3)	2,15833	0,21538	-0,16021
	Sbr 4	(G4)	0,93389	0,66981	-0,57778
	Lokal Hitam	(G5)	1,68611	0,04534	-0,00205
	Lokal Putih	(G6)	1,73167	0,48325	0,88712
Lingkungan (E)	0 g NaCl	(E1)	3,41056	0,53217	0,69051
	2 g NaCl	(E2)	2,70944	0,65810	-0,18013
	4 g NaCl	(E3)	2,15444	0,09541	-0,14001
	6 g NaCl	(E4)	1,03889	0,83423	0,52618
	8 g NaCl	(E5)	0,64722	0,18862	-0,43460
	10 g NaCl	(E6)	0,52889	0,26283	-0,46196

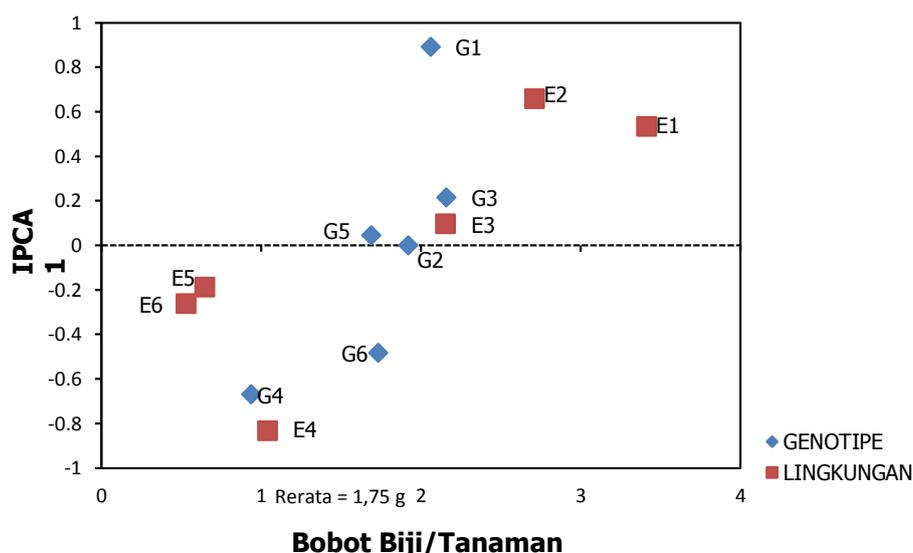
nyata yang berarti suatu aksesori akan memberikan respon yang positif pada lingkungan tertentu, tetapi tidak demikian halnya jika ditempatkan pada lingkungan yang lain. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis AMMI untuk mengidentifikasi aksesori yang berinteraksi positif pada lokasi tertentu.

Pemecahan nilai jumlah kuadrat interaksi genotipe dan lingkungan (GxE) melalui analisis AMMI menunjukkan IPCA1 dan IPCA2 berpengaruh nyata dengan proporsi masing-masing IPCA1 55,43% dan IPCA2 34,73% sedangkan IPCA3 dan IPCA4 tidak berpengaruh nyata. Menurut Gauch and Zobel (1988) untuk menduga model AMMI yang digunakan dapat dilihat dari banyaknya sumbu yang nyata pada uji F pada analisis sidik ragam (*postdictive success*). Hal ini berarti jumlah komponen utama interaksi yang perlu dipertimbangkan untuk membangun model AMMI adalah komponen IPCA1 dan IPCA2 yang diterangkan dalam grafik AMMI1 dan AMMI2 biplot. Tabel 2 menunjukkan keragaman nilai genotipe dan lingkungan IPCA1 dan IPCA2 dengan menggunakan analisis AMMI.

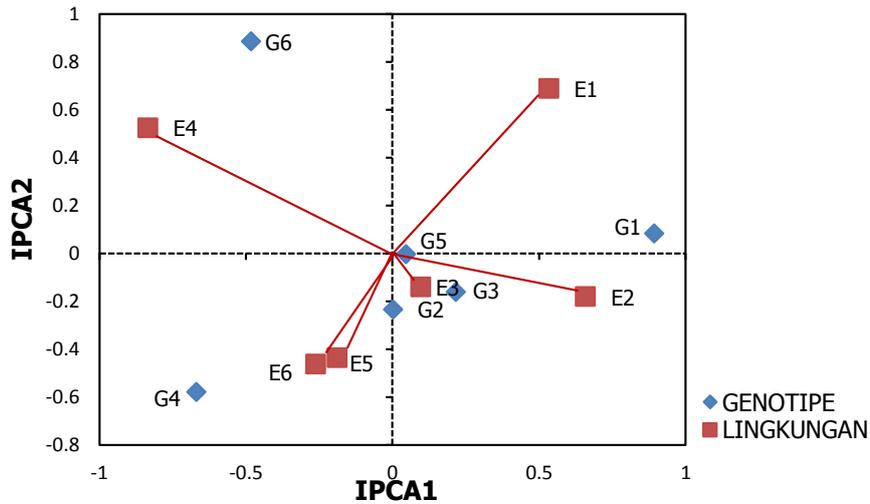
Semua informasi bobot biji per tanaman ditampilkan dalam grafik AMMI1 biplot

(Gambar 1) dan AMMI2 biplot (Gambar 2). Pada grafik AMMI1 (Gambar 1), peran utama genotipe dan lingkungan tergambar pada sumbu X dan nilai IPCA1 genotipe dan lingkungan pada sumbu Y, Sumbu X menggambarkan daya hasil bobot biji/tanaman, genotipe dan lingkungan dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu di atas rerata umum yaitu G1 (III det 23), G2 (III det 36) dan G3 (sbr 3) sedangkan genotipe di bawah rerata umum yaitu G4 (sbr 4), G5 (Lokal Hitam) dan G6 (Lokal Putih). G2 dan G3 adalah genotipe stabil dengan menghasilkan bobot biji di atas rerata umum sedangkan G5 adalah genotipe stabil dengan menghasilkan bobot biji di bawah rerata umum.

Lingkungan yang menghasilkan bobot biji per tanaman di atas rerata umum adalah E1 (0 g/L), E2 (2 g/L) dan E3 (4 g/L) sedangkan lingkungan yang menghasilkan bobot biji di bawah rerata umum adalah E4 (6 g/L), E5 (8 g/L) dan E6 (10 g/L). Lingkungan E3 (4 g/L) merupakan lingkungan yang stabil dan memberikan bobot biji/tanaman di atas rerata umum (Gambar 1). Konsentrasi NaCl 6 g/L, 8 g/L dan 10 g/L mampu menghambat perkembangan bobot/biji tanaman dan menyebabkan toksisitas ion sedangkan



Gambar 1 : Grafik AMMI1-biplot efek utama dan IPCA1 genotipe dan lingkungan



Gambar 2. Grafik AMMI2-biplot Bobot Biji/Tanaman Wijen (gram)

konsentrasi 2 g/L dan 4 g/L masih dapat ditoleransi oleh beberapa aksesori wijen. Toksisitas ion disebabkan oleh jumlah ion garam yang berlebihan. Ion garam masuk ke tanaman melalui aliran transpirasi. Ion-ion garam tersebut akan terakumulasi di tajuk dan seiring waktu akan mencapai konsentrasi yang toksik (Xu et al., 2013).

Menurut Samonte et al. (2005) genotipe yang mempunyai skor IPCA1 >0 mempunyai respon positif terhadap lingkungan yang juga mempunyai skor IPCA1 >0, namun genotipe tersebut mempunyai tanggapan negatif terhadap lingkungan dengan skor IPCA1 <0 dan sebaliknya, sehingga dari biplot AMMI1 (Gambar 1) dapat dikategorikan G1, G2, dan G3 dapat beradaptasi pada lingkungan E1, E2 dan E3 dengan menghasilkan bobot biji di atas rerata umum, sebaliknya G4, G5 dan G6 dapat beradaptasi pada lingkungan E4, E5 dan E6 dengan memberikan hasil di bawah rerata umum.

Gambar 2 menunjukkan grafik AMMI2 yang digunakan untuk menganalisis stabilitas. AMMI2 biplot menduga interaksi antara genotipe dengan lingkungan yang dapat dibaca secara langsung dari biplot melalui proyeksi genotipe terhadap lingkungan. Jika proyeksi suatu genotipe terdapat pada satu lingkungan tertentu maka genotipe tersebut

mempunyai interaksi positif terhadap lingkungan tersebut. Biplot AMMI2 dari analisis AMMI dapat digunakan untuk melihat genotipe-genotipe yang stabil pada seluruh lokasi percobaan (Lolita et al., 2019). 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; Krisnawati et al., 2016).

Berdasarkan grafik AMMI2 (Gambar 2), genotipe Lokal Hitam (G5), Sbr 3 (G3) dan III det 36 (G2) merupakan genotipe yang stabil di semua kondisi lingkungan. Genotipe yang mempunyai daya adaptasi khusus adalah genotipe yang dekat dengan vektor lingkungan tertentu. Genotipe G5, G3 dan G2 meskipun stabil di semua lingkungan namun lebih beradaptasi khusus di lingkungan E3 karena sudut yang terbentuk kecil antara genotipe dan lingkungan. Genotipe G6 beradaptasi khusus pada lingkungan E4, G1 pada lingkungan E2 dan G4 pada lingkungan dengan salinitas tinggi yaitu E6. Sudut yang terbentuk di antara vektor genotipe berkaitan dengan korelasi diantara keduanya. Semakin kecil sudut yang terbentuk berarti kedua

genotipe berkorelasi secara positif (Tarakanovas and Ruzgas, 2006).

Hasil analisis metode AMMI menggambarkan stabilitas yang mengikuti perubahan kondisi lingkungan. Perbedaan antar genotipe berdasarkan arah dan nilainya pada sumbu X (hasil) dan sumbu Y (IPCA1 = stabilitas) dapat diidentifikasi. Genotipe terbaik adalah yang memiliki bobot biji yang tinggi dan stabil mengikuti perubahan kondisi lingkungan. Genotipe Sbr 3 (G3) dengan nilai rerata 2,158 gram dan III Det 36 (G2) dengan nilai rerata 1,920 gram adalah genotipe yang stabil, cenderung tahan terhadap lingkungan salin dan mampu menghasilkan bobot biji/tanaman di atas rerata umum sedangkan genotipe Lokal Hitam (G5) meskipun stabil namun bobot biji/tanaman yang dihasilkan rendah dengan nilai rerata 1,686 gram. Genotipe yang stabil dan menghasilkan bobot biji di atas rerata umum pada beberapa konsentrasi NaCl memiliki potensi untuk dapat dikembangkan di lahan salin.

Ketahanan terhadap salinitas beragam antar aksesii wijen dengan tingkat yang paling rentan sampai paling tahan. Tanggapan tanaman terhadap lingkungan salin umumnya diakibatkan oleh adanya perubahan metabolisme. Apabila perubahan yang terjadi cukup berat, akan menyebabkan kerusakan jaringan hingga kematian tanaman. Batas ketahanan disebabkan oleh terhentinya pertumbuhan, kematian jaringan, hilangnya turgor, daun gugur sampai tanaman mati. Menurut (Roy et al., 2014) terdapat tiga mekanisme tanaman dalam menoleransi cekaman salinitas yaitu toleransi osmotik dengan mekanisme penginderaan dan sinyal, eksklusi ion yang terjadi jika proses transportasi Na^+ dan Cl^- dari akar mereduksi keracunan dalam daun dan toleransi jaringan terhadap konsentrasi garam tinggi yang melibatkan vakuola. Sensitivitas tanaman terhadap salinitas lebih tinggi pada tahap awal pembibitan dan reproduksi, tanaman harus mempertahankan siklus hidup untuk

meningkatkan kemampuan produksi hasil pada kondisi salinitas tinggi. (Gholizadeh et al., 2014).

KESIMPULAN

AMMI biplot dapat digunakan untuk mengenali aksesii wijen tahan salin. Lingkungan, genotipe dan interaksinya (GxE) berpengaruh sangat nyata terhadap bobot biji/tanaman wijen. Genotipe III det 36 (G2) dan Sbr 3 (G3) memiliki stabilitas serta memberikan hasil bobot biji pertanaman di atas rerata umum, sehingga memiliki potensi untuk dikembangkan di lahan salin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada program Pascasarjana Pemuliaan Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada, Loka Penelitian Penyakit Tungro, Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat serta tim editor Buletin Tanaman Tembakau, Serat dan Industri

DAFTAR PUSTAKA

- Adikadarsih, S., Permata, S., Basunanda, P., 2016. Hubungan Antara Hasil dan Komponen Hasil Wijen (*Sesamum indicum* L.) pada Generasi F1 dan F2 Persilangan Sbr2, Sbr3, dan Dt36. *Bul. Tanam. Tembakau, Serat Miny. Ind.* 7, 45–51.
- Banerjee, P., Kole, P., 2010. Heterosis, inbreeding depression and their relationship with genetic divergence in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Acta Agron. Hungarica* 58, 313–321.
- Crossa, J., 1990. Statistical analyses of multilocation trials, in: *Advances in Agronomy*. Elsevier, pp. 55–85.
- Dewi, S.M., Syukur, M., 2015. Interaksi genotipe x lingkungan hasil dan komponen hasil 14 genotipe tomat di empat lingkungan dataran rendah. *J. Agron. Indones. (Indonesian J. Agron.* 43, 59–65.

- Eberhart, S.A. t, Russell, W.A., 1966. Stability parameters for comparing varieties 1. *Crop Sci.* 6, 36–40.
- Firmansyah, F., Taryono, T., Yudono, P., 2012. The Dynamics of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Growth Type. *Ilmu Pertan.* (Agricultural Sci. 15, 30–46.
- Gauch, H.G., Zobel, R.W., 1988. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 76, 1–10.
- Gauch Jr, H.G., 2013. A simple protocol for AMMI analysis of yield trials. *Crop Sci.* 53, 1860–1869.
- Gauch Jr, H.G., 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics* 705–715.
- Gholizadeh, A., Dehghania, H., Dvorakb, J., 2014. Determination of the most effective traits on wheat yield under saline stress. *Agric. Adv.* 3, 103–110.
- Krisnawati, A., Basunanda, P., Adie, M.M., 2016. Analisis Stabilitas Hasil Genotipe Kedelai Menggunakan Metode Additive Main Effect and Multiplicative Interaction (Ammi). *Inform. Pertan.* 25, 41–50.
- Lolita, M., Sukarsa, I.K.G., Susilawati, M., n.d. Analisis Stabilitas Hasil Genotipe Jagung Menggunakan Metode Fixed Ammi.
- MARDJONO, R., 2015. Varietas unggul wijen Sumberrejo 1 dan 4 untuk pengembangan di lahan sawah sesudah padi. *Perspektif* 6, 1–9.
- Mohamed, N.E.M., 2013. Genotype by environment interactions for grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. plant Breed. Crop Sci.* 7, 150–157.
- Neisse, A.C., Kirch, J.L., Hongyu, K., 2018. AMMI and GGE Biplot for genotype \times environment interaction: a medoid-based hierarchical cluster analysis approach for high-dimensional data. *Biometrical Lett.* 55, 97–121.
- Purwati, R.D., Anggraini, T.D.A., Sudarmo, H., 2016. Keragaman karakter morfologi plasma nutfah wijen (*Sesamum indicum* L.).
- Roy, S.J., Negrão, S., Tester, M., 2014. Salt resistant crop plants. *Curr. Opin. Biotechnol.* 26, 115–124.
- Samonte, S.O.P.B., Wilson, L.T., McClung, A.M., Medley, J.C., 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. *Crop Sci.* 45, 2414–2424.
- Suwarto, S., 2010. Analisis stabilitas hasil dan adaptabilitas menggunakan analisis AMMI (Additive Main Effect And Multiplicative Interaction). *J. Agron.* 10.
- Tarakanovas, P., Ruzgas, V., 2006. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of grain yield of wheat varieties in Lithuania. *Agron. Res.* 4, 91–98.
- Wang, W., Vinocur, B., Altman, A., 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218, 1–14.
- Widyastuti, Y., 2013. Pemanfaatan Analisis Regresi dan Ammi untuk Evaluasi Stabilitas Hasil Genotipe Padi dan Pengaruh Interaksi Genetik dan Lingkungan. *Inform. Pertan.* 22, 21–27.
- Xu, S., Zhu, S., Jiang, Y., Wang, N., Wang, R., Shen, W., Yang, J., 2013. Hydrogen-rich water alleviates salt stress in rice during seed germination. *Plant Soil* 370, 47–57.
- Yan, W., Kang, M.S., 2002. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC press.
- Yang, R., Baker, R.J., 1991. Genotype-environment interactions in two wheat crosses. *Crop Sci.* 31, 83–87.