

## Identifikasi Stabilitas Hasil Genotipe Ubi Jalar (*Ipomoea batatas* L. (Lam)) Harapan Baru di Tiga Lingkungan

### Identification of Yield Stability on New Promising Sweet Potatoes (*Ipomoea batatas* L. (Lam)) Genotypes in Three Environments

Agung Karuniawan<sup>1,2,\*</sup> dan Haris Maulana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran  
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Kampus Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat, 45363, Indonesia  
<sup>2</sup>Magister Manajemen Sumberdaya Hayati, Sekolah Pascasarjana, Universitas Padjadjaran  
Jl. Dipati Ukur No. 35, Bandung, 40132, Indonesia

Diterima 13 Oktober 2020/Disetujui 2 Desember 2020

#### ABSTRACT

Multilocation tested is needed to estimate the yield stability of the tested plants. This study aimed to estimate the genotype by environment interactions (GxE), identify the yield stability of the new promising sweet potato genotypes, and identify static and dynamic stability measurement models for sweet potato yields. The research was conducted in three environments in West Java, i.e., Sumedang Regency (729 masl), Bandung Regency (857 masl), and Karawang Regency (24 masl) from January 2017 to July 2018. The field experiment used an augmented design at each location. To estimate the GxE, a combined analysis of variance (ANOVA) was used, while the yield stability was estimated using the parametric (linear regression ( $bi$  and  $S^2di$ ), mean variance component ( $\theta_i$ ), genotypes variance environments (GE) ( $\theta_{(i)}$ ), Wricke ecovalence ( $Wi^2$ ), Shukla variance stability ( $\sigma^2i$ ), coefficient of variation (CVi), AMMI stability value (ASV)) and non-parametric stability measurements (Huehn ( $S^{(i)}$ ), Thennarasu ( $NP^{(i)}$ ), Kang Ranks (KR)), and GGE biplot. The results showed that GxE had a significant effect on the yield with a contribution of 14.17%. Two new sweet potato genotypes were identified as stable and high yields in three environments, they were PR79 and PR126. These genotypes can be recommended as new superior genotypes and as materials for further sweet potato plant breeding programs.  $NP^{(2)}$  and  $\theta_i$  stability measurements were the static stability models that can recommend the stable genotypes in unfavorable environments, while  $S^{(1)}$ ,  $S^{(2)}$ ,  $S^{(3)}$ ,  $S^{(6)}$ ,  $NP^{(1)}$ ,  $NP^{(3)}$ ,  $NP^{(4)}$ , KR, CVi,  $bi$ ,  $S^2di$ ,  $Wi^2$ , ASV, and  $\sigma^2i$  were the dynamic stability models that can recommend the stable genotypes in favorable environments.

Keywords: GGE biplot, multilocation, non-parametric, parametric, yield stability

#### ABSTRAK

Pengujian multilokasi diperlukan untuk mengestimasi stabilitas hasil dari tanaman yang diuji. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi interaksi genotipe dengan lingkungan (GxE), mengidentifikasi stabilitas hasil genotipe-genotipe baru ubi jalar, serta mengidentifikasi pengukuran stabilitas yang statis dan dinamis terhadap hasil ubi jalar. Penelitian dilakukan di tiga lingkungan di Jawa Barat, diantaranya pada dataran medium yaitu Kabupaten Sumedang (729 mdpl), Kabupaten Bandung (857 mdpl), serta pada dataran rendah yaitu Kabupaten Karawang (24 mdpl) dari bulan Januari 2017-Juli 2018. Percobaan menggunakan rancangan lapangan Augmented design di setiap lokasi. Analisis ragam (ANOVA) gabungan digunakan untuk mengestimasi GxE, sedangkan stabilitas hasil diestimasi dengan pengukuran model stabilitas parametrik (Regresi linier Eberhart dan Russell ( $bi$  dan  $S^2di$ ), komponen rata-rata varians ( $\theta_i$ ), varians genotipe terhadap lingkungan (GE) ( $\theta_{(i)}$ ), Wricke ecovalence ( $Wi^2$ ), varians stabilitas Shukla ( $\sigma^2i$ ), koefisien variasi (CVi), AMMI stability value (ASV)), non-parametrik (model Huehn ( $S^{(i)}$ ), model Thennarasu ( $NP^{(i)}$ ), Peringkat Kang (KR)), dan GGE biplot. Hasil penelitian menunjukkan bahwa GxE menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap hasil panen dengan kontribusi sebesar 14.17%. Dua genotipe ubi jalar teridentifikasi stabil dan memiliki hasil tinggi di tiga lingkungan yaitu PR79 dan PR126. Genotipe-genotipe tersebut dapat direkomendasikan sebagai genotipe unggul baru dan sebagai bahan untuk program pemuliaan tanaman ubi jalar selanjutnya. Pengukuran stabilitas  $NP^{(2)}$  dan  $\theta_i$  merupakan model stabilitas statis yang dapat merekomendasikan genotipe stabil pada lingkungan yang kurang menguntungkan (unfavorable), sedangkan pengukuran  $S^{(1)}$ ,  $S^{(2)}$ ,  $S^{(3)}$ ,  $S^{(6)}$ ,  $NP^{(1)}$ ,  $NP^{(3)}$ ,  $NP^{(4)}$ , KR, CVi,  $bi$ ,  $S^2di$ ,  $Wi^2$ , ASV, dan  $\sigma^2i$  merupakan model stabilitas dinamis yang dapat merekomendasikan genotipe stabil pada lingkungan yang menguntungkan (favorable).

Kata kunci: GGE biplot, multilokasi, non-parametrik, parametrik, stabilitas hasil

\* Penulis untuk korespondensi. e-mail: [agung.karuniawan@unpad.ac.id](mailto:agung.karuniawan@unpad.ac.id)

## PENDAHULUAN

Ubi jalar merupakan salah satu komoditas pertanian yang memiliki nilai ekonomi tinggi di Jawa Barat. Beberapa produk olahan yang berasal dari ubi jalar meningkatkan nilai jual dari komoditas ini, diantaranya biofuel (Waluyo *et al.*, 2015), pewarna alami (Hariadi *et al.*, 2018), serta tepung dan *snack bar* (Sunyoto *et al.*, 2019). Selain itu, industri pangan yang menjadikan ubi jalar sebagai bahan baku utamanya, juga telah banyak berkembang di provinsi Jawa Barat (Maulana *et al.*, 2020). Akan tetapi, jumlah permintaan ubi jalar dari industri dan pasar tidak sejalan dengan kapasitas produksi. Hal ini dikarenakan menurunnya hasil dari varietas yang sesuai preferensi konsumen dan pasar, serta kualitas varietas-varietas yang beredar tidak memenuhi standar (spesifikasi tidak sesuai). Oleh karena itu, diperlukan varietas unggul baru ubi jalar yang sesuai dengan preferensi konsumen dan industri dengan hasil yang tinggi.

Pengujian multilokasi sangat penting dalam program pemuliaan tanaman. Saat ini, program pengembangan genotipe yang stabil dan berdaya hasil tinggi serta sesuai dengan preferensi konsumen, adalah salah satu tujuan utama program pemuliaan ubi jalar (Maulana *et al.*, 2020). Pengujian multilokasi dapat mengetahui genotipe-genotipe stabil pada lingkungan yang luas, serta adaptif pada lingkungan yang spesifik. Efek GxE pada pengujian multilokasi terutama terjadi pada karakter kuantitatif termasuk hasil panen (Andrade *et al.*, 2016a), serta resistensi terhadap faktor biotik dan abiotik (Dia *et al.*, 2016). Saat ini telah banyak penelitian yang menggunakan kombinasi model stabilitas parametrik dan non-parametrik dalam menyeleksi genotipe stabil dan berdaya hasil tinggi, diantaranya pada tanaman buncis (*Cicer arietinum* L.) (Farshadfar *et al.*, 2012), pada tanaman kacang rumput (*Lathyrus sativus* L.) (Ahmadi *et al.*, 2015), pada tanaman gandum (Abate *et al.*, 2015), pada tanaman jelai (Khalili dan Pour-aboughadareh, 2016; Vaezi *et al.*, 2019), pada tanaman jagung manis (Ruswandi *et al.*, 2020), dan pada tanaman ubi jalar (Maulana *et al.*, 2020). Pada penelitian lainnya, Ajay *et al.* (2020) berhasil menyeleksi tanaman kacang pada kondisi cekaman pospor di India dan Sabaghnia *et al.* (2013) pada tanaman gandum di Iran dengan penggabungan berbagai parameter AMMI. Penggunaan gabungan model stabilitas dikarenakan analisis dengan satu pengukuran stabilitas pada genotipe-genotipe yang diuji dianggap kurang informatif (Khalili dan Pour-aboughadareh, 2016). Oleh karena itu, penggabungan berbagai pengukuran stabilitas dalam menyeleksi genotipe yang stabil dan berdaya hasil tinggi pada pengujian multilokasi, lebih dianjurkan.

Saat ini Universitas Padjadjaran (UNPAD), telah memiliki genotipe baru ubi jalar hasil persilangan terarah. Kegiatan ini merupakan kerjasama antara UNPAD dengan CIP Peru. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengestimasi pengaruh GxE terhadap hasil panen ubi jalar, menyeleksi genotipe-genotipe ubi jalar baru yang stabil dan berdaya hasil tinggi di Jawa Barat, serta mengidentifikasi pengukuran stabilitas yang statis dan dinamis terhadap hasil ubi jalar di Jawa Barat.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan Tanam dan Metode

Bahan tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah 27 genotipe harapan baru hasil persilangan terarah (Tabel 1) dan tujuh varietas cek sebagai kontrol yaitu Rancing (C1), AC-Putih (C2), Keriting Maja (C3), Ayamurasaki (C4), Beniazuma (C5), Kidal (C6), dan Beta-2 (C7). Genotipe-genotipe yang digunakan ini merupakan hasil seleksi sesuai preferensi konsumen berdasarkan Maulana *et al.* (2016). Pupuk yang digunakan yaitu pupuk kandang (kotoran ayam) dengan dosis 5 ton ha<sup>-1</sup> dan pupuk NPK Phonska (16:16:16) dengan dosis 200 kg ha<sup>-1</sup>.

Percobaan lapangan pada setiap lokasi menggunakan rancangan *Augmented design* tipe 2. Setiap genotipe yang diuji tidak dilakukan pengulangan dan ditanam pada plot berukuran 5 m<sup>2</sup> setiap genotipenya. Hal ini dikarenakan bahan tanam dari setiap genotipe masih terbatas. Percobaan dilakukan di tiga lokasi Jawa Barat, yaitu Kebun Percobaan Ciparanje, Kecamatan Jatiningor, Kabupaten Sumedang

Tabel 1. Daftar genotipe yang diuji

No.	Kode genotipe	Nama genotipe
1	PR17	CIP 102030 1.16
2	PR20	CIP 102030 1.19
3	PR39	CIP 103002 2.60
4	PR43	CIP 103002 2.10
5	PR53	CIP 103002 2.20
6	PR54	CIP 103002 2.21
7	PR56	CIP 103002 2.23
8	PR79	CIP 103002 2.45
9	PR84	CIP 103002 2.50
10	PR114	CIP 103009 3.10
11	PR115	CIP 103009 3.11
12	PR118	CIP 103009 3.13
13	PR121	CIP 103009 3.16
14	PR125	CIP 103009 3.20
15	PR126	CIP 103009 3.21
16	PR136	CIP 103009 3.31
17	PR144	CIP 103009 3.39
18	PR165	CIP 103017 4.11
19	PR168	CIP 103017 4.14
20	PR174	CIP 103017 4.20
21	PR178	CIP 103017 4.24
22	PR179	CIP 103017 4.25
23	PR191	CIP 103017 4.37
24	PR196	CIP 103017 4.42
25	PR202	CIP 103017 4.48
26	PR235	CIP 103029 5.20
27	PR838	CIP 103033 12.67

dengan ketinggian 729 mdpl; Kebun Percobaan Arjasari, Kecamatan Arjasari, Kabupaten Bandung dengan ketinggian 857 mdpl; dan Desa Puseurjaya, Kecamatan Telukjambe, Kabupaten Karawang dengan ketinggian 24 mdpl sejak Januari 2017 hingga Juli 2018. Kondisi lingkungan disetiap lokasi percobaan tersaji pada Tabel 2. Pada rancangan ini ulangan dilakukan hanya pada akses kontrol atau cek yaitu sebanyak 3 ulangan. Penggunaan *augmented design* tipe 2 ini bertujuan untuk mengestimasi variasi lingkungan pada lokasi pengujian. Jarak tanam yang digunakan adalah 100 cm x 25 cm.

Banyaknya blok yang dibutuhkan ditentukan oleh hubungan derajat bebas untuk *error* pada analisis varians dengan kontrol atau tetua. Jika  $c$  adalah jumlah kontrol yang berbeda yang digunakan, dan  $r$  adalah jumlah blok, maka derajat bebas untuk *error* paling sedikit harus sama dengan 10, seperti yang ditunjukkan pada rumus berikut:  $(r-1)(c-1) \geq 10$ .

#### Analisis Data

Data diambil dari setiap lokasi dengan mengukur bobot per plot dari setiap genotipe (kg per plot) pada saat panen (18 MST). Estimasi interaksi genotipe dengan lingkungan (GxE) mengikuti You *et al.* (2013). Pada percobaan lapangan *augmented design*, analisis varians gabungan dari nilai varietas cek yang disesuaikan dilakukan untuk menguji stabilitas hasil dan sifat lain dari genotipe uji di lingkungan yang berbeda. Karena tidak ada ulangan untuk genotipe uji, kesalahan percobaan (*error*) gabungan dapat diestimasi berdasarkan nilai yang disesuaikan dari plot kontrol (cek). Heterogenitas tanah dari plot kontrol dihilangkan dengan penyesuaian data, sehingga nilai  $rc$  (jumlah nilai yang disesuaikan dari plot kontrol) dapat

dianggap sebagai nilai yang direplikasi. Oleh karena itu, ANOVA gabungan varietas cek dari setiap blok berbeda digunakan untuk memperkirakan kesalahan percobaan di berbagai lingkungan. Adapun tabel ANOVA gabungan *augmented design* tersaji pada Tabel 3. Uji *Least Significant Increase* (LSI) digunakan untuk mengestimasi performa hasil setiap genotipe yang diuji terhadap varietas cek, mengikuti Petersen (1994).

Identifikasi stabilitas genotipe dilakukan dengan menggunakan penggabungan model stabilitas parametrik dan non-parametrik. Regresi linier dilakukan dengan menggunakan metode Eberhart dan Russell, (1966). Berdasarkan model ini, jika kemiringan regresi ( $b_i$ ) sama dengan 1 dan deviasi varians ( $S^2_{di}$ ) sama dengan 0, maka genotipe dinyatakan stabil. Untuk mengestimasi komponen rata-rata varians ( $\theta_i$ ), mengikuti Plaisted dan Peterson (1959). Komponen varians genotipe terhadap lingkungan (GE) ( $\theta_{(i)}$ ) mengikuti Plaisted (1960), Wricke ecovalence ( $Wi^2$ ) mengikuti Wricke (1962), varians stabilitas Shukla ( $\sigma^2_i$ ) mengikuti (Shukla, 1972), dan koefisien variasi (CV $_i$ ) mengikuti Francis dan Kannenberg (1978).

Model stabilitas non-parametrik ( $S^{(i)}$ ) mengikuti Huehn, (1990). Model stabilitas (NP $^{(i)}$ ) mengikuti Thennarasu (1995), dan model stabilitas non-parametrik Peringkat Kang (KR) mengikuti Kang (1988). Dalam metode ini, performa hasil dan varians stabilitas genotipe dengan hasil tinggi dan stabil diberi bobot 1.

Pengukuran stabilitas menggunakan AMMI *Stability Value* (ASV) dihitung dengan formula mengikuti (Purchase *et al.*, 2000). Untuk mengestimasi stabilitas hasil berdasarkan model parametrik dan non-parametrik, digunakan perangkat lunak online *STABILITYSOFT* (Pour-aboughadareh *et al.*, 2019). Pengelompokan genotip stabil berdasarkan pengukuran stabilitas parametrik dan non-parametrik

Tabel 2. Kondisi lingkungan pada tiga lokasi pengujian

Lingkungan	Kabupaten Sumedang	Kabupaten Bandung	Kabupaten Karawang
Ketinggian (m.dpl)	729	857	24
Koordinat	6°55'00.6"S 107°46'18.3"E	7°03'35.3"S 107°38'46.5"E	6°20'15.1"S 107°18'20.2"E
Jenis Tanah	Inceptisols	Inceptisols	Inceptisols
Curah hujan (mm/bln):			
Minimum	119.10	124.00	119.20
Maksimum	874.30	367.00	287.30
Rata-rata	538.00	198.20	175.32
Suhu udara (°C) :			
Minimum	22.50	24.00	23.00
Maksimum	23.10	29.00	31.10
Rata-rata	22.86	26.00	26.52
pH	7.28	6.85	7.70
K	0.37	0.69	0.30
P	26.68	45.49	17.77
N	0.18	0.21	0.13
C-Organik	1.70	2.17	1.33

Tabel 3. Analisis varians (ANOVA) gabungan *augmented design* pada varietas cek

Sumber variasi	DB	KT	Uji F
Genotipe (G)	$g-1$	$KT_g$	$KT_g / KT_E$
Lingkungan (E)	$e-1$	$KT_e$	$KT_e / KT_E$
Interaksi Genotipe dengan Lingkungan (GxE)	$(g-1)(e-1)$	$KT_{ge}$	$KT_{ge} / KT_E$
Error	$e((rc-1)+2(m-1))$	$KT_E$	

Keterangan: DB = Derajat Bebas; KT = Kuadrat Tengah; g = jumlah varietas cek yang digunakan; e = jumlah lokasi/lingkungan; rc = jumlah nilai yang disesuaikan dari plot kontrol, m = jumlah blok yang digunakan

menggunakan dendrogram berdasarkan peringkat masing-masing pengukuran. Estimasi model stabilitas menggunakan GGE biplot mengikuti Yan dan Tinker (2006). Seleksi genotipe stabil dan berdaya hasil tinggi berdasarkan irisan antara genotipe-genotipe yang terseleksi oleh pengukuran stabilitas parametrik dan non-parametrik, serta GGE biplot. Identifikasi model pengukuran stabilitas statis dan dinamis menggunakan korelasi peringkat Spearman dan *principal component analysis* (PCA) (Vaezi *et al.*, 2019).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Interaksi Genotipe dengan Lingkungan

Hasil analisis varians (ANOVA) gabungan pada varietas cek yang diuji tersaji pada Tabel 4. Tabel 4 menunjukkan bahwa efek lingkungan memberikan kontribusi terbesar terhadap keragaman hasil panen ubi jalar (74.84%), diikuti oleh efek interaksi genotipe dengan lingkungan (GxE) (14.17%), dan efek genotipe (10.99%). Beberapa peneliti juga melaporkan bahwa GxE mempengaruhi hasil panen ubi jalar (Haldavanekar *et al.*, 2011; Kathabwalika *et al.*, 2013; Mau *et al.*, 2013; Laurie *et al.*, 2015; Gurmu, 2017; Rukundo *et al.*, 2017; Mustamu *et al.*, 2018; Ngailo *et al.*, 2019). Hal ini menunjukkan bahwa variasi hasil panen ubi jalar sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan.

Munculnya efek GxE dengan kontribusi yang cukup besar, menunjukkan bahwa hasil panen ubi jalar bervariasi pada setiap lokasi percobaan. Hal ini membuat program pemuliaan tanaman ubi jalar menjadi kurang efisien (Andrade *et al.*, 2016a). Pada penelitian lainnya, GxE juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil panen seperti Purwokurniawan *et al.* (2014) pada padi gogo di Indonesia,

Oliveira *et al.* (2014) pada markisa kuning di Brazil, Ngailo *et al.* (2019) pada ubi jalar di Tanzania, dan Hastini *et al.* (2020) pada padi sawah di Indonesia. Adanya GxE yang signifikan menyebabkan perlu dilakukannya analisis lanjutan dengan berbagai pendekatan untuk mengestimasi stabilitas hasil (Khalili dan Pour-aboughadareh, 2016; Vaezi *et al.*, 2019; Maulana *et al.*, 2020). Oleh karena itu, berbagai pengukuran stabilitas digunakan untuk mengelompokkan genotipe-genotipe ubi jalar pada kelompok yang lebih jelas.

Nilai koefisien variasi (CV) yang dihasilkan pada penelitian ini sangat besar (45.63%). Menurut Andrade *et al.*, (2016b), besarnya CV menunjukkan bahwa akurasi data hasil penelitian kurang representatif dan variasi hasil panen dari setiap genotipe di setiap lokasi tanam cukup tinggi. Solihin *et al.* (2018), juga melaporkan bahwa variasi lingkungan menyebabkan perbedaan potensi dan kualitas hasil ubi jalar. Nilai CV yang dihasilkan pada sebuah percobaan disebabkan oleh berbagai faktor diantaranya lingkungan percobaan, jenis percobaan (rancangan percobaan), tanaman yang diuji, dan karakter yang diamati (Maulana *et al.*, 2018; Prayudha *et al.*, 2019). Pada penelitian ini, besarnya nilai CV yang dihasilkan kemungkinan disebabkan oleh desain percobaan yang digunakan yaitu *augmented design*. Hal ini karena pada percobaan yang digunakan tidak dilakukan pengulangan pada genotipe baru yang diuji, sehingga variasi data antar setiap genotipe pada tiga lingkungan percobaan menjadi lebih besar.

Curah hujan rata-rata selama percobaan di Kabupaten Sumedang, Bandung, dan Karawang berturut-turut adalah 538 mm, 198,2 mm, dan 175,32 mm (Tabel 2). Lokasi Kabupaten Karawang dan Bandung merupakan lokasi dengan curah hujan yang lebih kecil dan suhu udara yang

Tabel 4. Hasil analisis varians gabungan pada tujuh varietas cek

Sumber variasi	DB	JK	KT	F-hitung	F-prob.	Persentase (%)
Genotipe (G)	6	97.02	16.17	3.24	0.01	10.99
Lingkungan (E)	2	660.72	330.36	66.26	0.00	74.84
Interaksi (GxE)	12	125.09	10.42	2.09	0.03	14.17
Error	42	209.39	4.99			
Rata-rata (kg)	3.54					
CV (%)	45.63					

Keterangan: DB = derajat bebas; JK = jumlah kuadrat; KT = kuadrat tengah; CV = koefisien variasi

lebih tinggi. Oleh karena itu, kebutuhan air pada kedua lokasi tersebut lebih tinggi, sehingga dilakukan penyiraman yang lebih banyak di dibandingkan dengan lokasi Kabupaten Sumedang. Menurut Lestari dan Ricky (2015), kebutuhan air pada fase awal dan penanaman sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Opafola *et al.* (2018) juga menambahkan bahwa suhu yang tinggi, unsur hara yang rendah, dan kekurangan air saat penanaman ubi jalar akan menyebabkan tanaman menjadi stress dan pertumbuhan ubi menjadi tidak maksimal. Berdasarkan hal tersebut, kondisi lingkungan yang cukup basah sangat mendukung pertumbuhan dan pembentukan ubi dalam tanah. Lokasi kabupaten Sumedang memiliki suhu udara pada kisaran 22.50-23.10 °C, suhu udara di lokasi kabupaten Bandung berada pada kisaran 24.00-29.00 °C, sedangkan kabupaten Karawang berada pada kisaran 23.00-31.10 °C. Suhu optimum untuk pertumbuhan ubi jalar berkisar antara 21.00-27.00 °C (Opafola *et al.*, 2018). Hasil identifikasi tersebut menunjukkan bahwa kondisi lokasi pengujian kabupaten Sumedang memiliki suhu dan curah hujan yang baik untuk pertumbuhan ubi jalar, sedangkan kabupaten Bandung dan Karawang, kurang mendukung untuk pertumbuhan ubi jalar. Hal ini dikarenakan penanaman pada kedua lokasi tersebut dilakukan pada musim kemarau.

Hasil analisis tanah yang dilakukan di Laboratorium kimia tanah dan nutrisi tanaman, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran (Tabel 2). Hasil pengujian menunjukkan bahwa lahan percobaan di Kabupaten Sumedang, Bandung, dan Karawang memiliki kondisi pH, N, P, K, dan C-organik yang menunjang pertumbuhan ubi jalar. Perbedaan kondisi lingkungan percobaan, menyebabkan performa hasil panen dari setiap genotipe ubi jalar menjadi berbeda (Solihin *et al.*, 2018). Hasil uji *least significant increase* (LSI) yang tersaji pada Tabel 5 menunjukkan perbedaan potensi dari setiap genotipe yang diuji terhadap varietas cek yang digunakan. Genotipe-genotipe pada lokasi kabupaten Sumedang menunjukkan performa hasil yang dominan melebihi varietas cek. Dua puluh genotipe teridentifikasi memiliki potensi hasil yang melebihi seluruh varietas cek, dua genotipe melebihi enam varietas cek, dan lima genotipe tidak melebihi satupun varietas cek. Lokasi kabupaten Bandung menunjukkan performa yang berbeda, dimana tidak ada satupun genotipe baru yang melebihi varietas cek. Lokasi kabupaten Karawang juga menunjukkan performa yang kurang baik, yaitu hanya terdapat satu genotipe yang melebihi satu varietas cek, yaitu genotipe PR79 yang melebihi cek 4. Perbedaan performa hasil setiap genotipe yang diuji pada setiap lokasi pengujian, dikarenakan kondisi lingkungan yang berbeda terutama pada lokasi kabupaten Bandung dan Karawang dengan kondisi yang cukup ekstrim, sehingga tanaman yang diuji tercekam oleh kekeringan. Hal ini juga dilaporkan oleh beberapa penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa cekaman kekeringan sangat mempengaruhi performa hasil tanaman (Lestari and Ricky, 2015; Opafola *et al.*, 2018). Selain itu, latar belakang genetik dan tetua persilangan yang berbeda juga menyebabkan potensi setiap genotipe yang diuji berbeda. Oleh karena itu, penanaman ubi jalar pada musim hujan dan

penghujung musim hujan lebih disarankan, agar tanaman ubi jalar mendapatkan asupan air yang cukup selama masa pertumbuhan.

#### *Pengukuran Stabilitas dengan Model Parametrik dan Non-parametrik*

Efek GxE telah banyak dipelajari secara luas oleh para pemulia tanaman dalam menyeleksi genotipe yang stabil dan berdaya hasil tinggi. Berbagai metode telah diusulkan untuk dapat digunakan sebagai indeks seleksi bersama dengan hasil rata-rata peringkat stabilitas genotipe (Farshadfar *et al.*, 2012; Abate *et al.*, 2015; Khalili dan Pour-aboughadareh, 2016; Goksoy *et al.*, 2019; Vaezi *et al.*, 2019). Dalam penelitian ini, digunakan beberapa pengukuran stabilitas parametrik dan non-parametrik, serta model GGE biplot untuk mengidentifikasi genotipe ubi jalar yang stabil dan berdaya hasil tinggi.

Hasil analisis stabilitas parametrik dan non-parametrik ubi jalar disajikan pada Tabel 6, sedangkan peringkat stabilitasnya tersaji pada Tabel 7. Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7, terlihat bahwa setiap stabilitas memiliki perbedaan dalam mengestimasi genotipe yang stabil. Akan tetapi, terdapat tiga model stabilitas yang memiliki pola sama dalam mengestimasi stabilitas genotipe, yaitu model stabilitas Wricke ekovalens ( $Wi^2$ ), varians stabilitas Shukla ( $\sigma^2$ ), dan komponen varians GE Plaisted ( $\theta_{(i)}$ ), dengan PR115 dan PR125 sebagai genotipe yang paling stabil. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga pengukuran tersebut ( $Wi^2$ ,  $\sigma^2$ ,  $\theta_{(i)}$ ) memiliki kekuatan yang sama dalam mengestimasi stabilitas genotipe, sehingga dapat digunakan salah satu dari ketiga model tersebut untuk menyeleksi genotipe stabil (Vaezi *et al.*, 2017). Berdasarkan nilai rata-rata peringkat, genotipe PR79, C4, PR115, PR125, PR838, PR84, PR20, PR126, PR118, dan PR53 memiliki nilai yang kecil, sehingga dinyatakan paling stabil. Hal serupa juga diungkapkan oleh Vaezi *et al.* (2019), yang menyebutkan bahwa genotipe yang memiliki nilai rata-rata peringkat paling kecil merupakan genotipe yang memiliki stabilitas hasil paling tinggi pada pengujian multilokasi.

Analisis kluster (dendrogram) digunakan untuk mengelompokkan genotipe-genotipe ubi jalar kedalam kelompok yang jelas. Hasil analisis dendrogram tersaji pada Gambar 1. Dendrogram dari analisis ini memisahkan genotipe ubi jalar menjadi tiga kelompok utama. Kelompok pertama (K1) terdiri dari genotipe PR202, PR191, PR144, PR174, PR136, PR168, PR121, PR235, dan PR196. Kelompok K1 memiliki rata-rata hasil panen tinggi dan peringkat rata-rata stabilitas yang tinggi, sehingga mereka merupakan kelompok genotipe tidak stabil dengan hasil panen tinggi. Genotipe-genotipe yang beradaptasi spesifik memiliki keunggulan untuk merespon perubahan lingkungan dibandingkan genotipe yang stabil (Adebola *et al.*, 2013; Laurie *et al.*, 2015; Ngailo *et al.*, 2019). Oleh karena itu, kelompok ini dapat direkomendasikan sebagai varietas unggul spesifik lingkungan.

Kelompok kedua (K2) terdiri dari genotipe C7, C2, C5, C6, C3, dan C1, memiliki hasil panen lebih besar dari rata-rata keseluruhan dan memiliki peringkat rata-rata stabilitas yang

Tabel 5. Hasil uji *least significant increase* (LSI) pada setiap lokasi pengujian

No	Genotipe	Kabupaten Sumedang		Kabupaten Bandung		Kabupaten Karawang	
		Nilai penyesuaian	Notasi	Nilai penyesuaian	Notasi	Nilai penyesuaian	Notasi
1	PR17	2.16	-	0.16	-	4.02	-
2	PR20	4.84	b-g	0.17	-	2.22	-
3	PR39	2.41	-	0.16	-	6.87	-
4	PR43	2.75	-	0.58	-	2.17	-
5	PR53	4.14	-	0.17	-	2.00	-
6	PR54	8.29	a-g	0.54	-	1.60	-
7	PR56	7.94	a-g	0.17	-	1.60	-
8	PR79	9.36	a-g	3.31	-	9.37	d
9	PR84	7.24	a-g	0.18	-	2.27	-
10	PR114	9.40	a-g	0.51	-	0.67	-
11	PR115	6.49	a-g	0.51	-	0.85	-
12	PR118	10.89	a-g	0.51	-	4.23	-
13	PR121	1.79	-	1.56	-	5.43	-
14	PR125	5.64	a-g	0.51	-	0.10	-
15	PR126	7.23	a-g	4.76	-	6.62	-
16	PR136	12.14	a-g	0.51	-	0.15	-
17	PR144	10.41	a-g	0.51	-	0.15	-
18	PR165	5.71	a-g	0.51	-	0.15	-
19	PR168	12.07	a-g	0.51	-	0.15	-
20	PR174	11.92	a-g	0.51	-	0.15	-
21	PR178	4.82	b-g	0.51	-	0.15	-
22	PR179	7.57	a-g	0.51	-	0.15	-
23	PR191	11.45	a-g	0.51	-	0.15	-
24	PR196	14.45	a-g	0.56	-	0.15	-
25	PR202	11.17	a-g	0.57	-	0.15	-
26	PR235	15.65	a-g	0.57	-	0.15	-
27	PR838	6.20	a-g	0.56	-	1.02	-
LSI		0.68		5.49		3.57	
Cek 1+LSI		4.97		6.87		14.94	
Cek 2+LSI		4.43		8.07		12.12	
Cek 3+LSI		4.56		6.12		12.86	
Cek 4+LSI		4.57		6.36		7.03	
Cek 5+LSI		4.31		8.92		17.97	
Cek 6+LSI		4.78		6.01		13.29	
Cek 7+LSI		4.31		6.81		11.64	

Keterangan: a = melebihi cek 1 (Rancing), b = melebihi cek 2 (AC-putih), c = melebihi cek 3 (Keriting maja), d = melebihi cek 4 (Ayamurasaki), e = melebihi cek 5 (Beniazuma), f = melebihi cek 6 (Kidal), g = melebihi cek 7 (Beta-2), - = tidak melebihi cek

rendah. Kelompok ini merupakan kelompok ideal, karena memiliki hasil tinggi (di atas rata-rata keseluruhan) serta stabil pada tiga lingkungan pengujian (Vaezi *et al.*, 2019). Akan tetapi, semua genotipe yang berada pada kelompok ini

adalah varietas cek, sehingga identifikasi genotipe unggul baru harus dilakukan pada kelompok lainnya.

Kelompok ketiga (K3) terbagi menjadi dua sub kelompok, yaitu sub kelompok genotipe stabil dengan hasil

Tabel 6. Analisis stabilitas parametrik dan non-parametrik terhadap 34 genotipe ubi jalar

Genotipe	Hasil	S <sup>(1)</sup>	S <sup>(2)</sup>	S <sup>(3)</sup>	S <sup>(6)</sup>	NP <sup>(1)</sup>	NP <sup>(2)</sup>	NP <sup>(3)</sup>	NP <sup>(4)</sup>	KR	W <sub>i</sub> <sup>2</sup>	σ <sub>i</sub> <sup>2</sup>	s <sup>2</sup> d <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	CV <sub>i</sub>	θ <sub>(0)</sub>	θ <sub>i</sub>	ASV
PR17	1.58	13.33	127.00	31.75	3.25	10.33	1.14	1.19	1.67	50	0.48	0.24	0.01	0.32	86.69	0.51	0.38	0.98
PR20	1.87	10.67	72.33	13.56	1.81	8.67	1.08	0.58	1.00	33	0.10	0.04	0.01	0.77	145.18	0.52	0.29	0.27
PR39	2.61	16.00	177.33	36.69	3.17	8.33	0.69	0.82	1.66	45	0.91	0.47	0.07	0.31	101.14	0.50	0.49	1.33
PR43	1.36	15.33	132.33	16.89	1.49	12.67	0.68	0.61	0.98	49	0.40	0.20	0.00	0.36	97.44	0.51	0.36	0.71
PR53	1.56	8.67	46.33	10.69	1.77	12.00	1.74	1.02	1.00	39	0.15	0.07	0.01	0.66	151.52	0.52	0.30	0.38
PR54	3.00	16.00	177.33	21.71	1.88	5.67	0.35	0.45	0.98	36	0.43	0.21	0.05	1.24	156.9	0.51	0.37	0.47
PR56	2.69	14.00	147.00	36.75	3.50	6.00	0.73	0.67	1.75	35	0.35	0.17	0.04	1.27	173.21	0.51	0.35	0.42
PR79	5.95	2.00	3.00	0.23	0.15	10.67	0.05	0.38	0.08	16	0.40	0.20	0.05	1.27	79.57	0.51	0.36	0.70
PR84	2.68	12.67	109.00	16.77	1.85	3.00	0.40	0.27	0.97	33	0.16	0.07	0.02	1.14	151.94	0.52	0.30	0.20
PR114	3.26	15.33	134.33	20.15	1.85	8.67	0.53	0.50	1.15	36	0.46	0.23	0.04	1.44	159.48	0.51	0.38	0.57
PR115	2.98	14.00	124.33	18.20	1.85	2.33	0.36	0.12	1.02	22	0.00	-0.01	0.00	0.95	107.01	0.52	0.26	0.27
PR118	5.58	17.33	217.00	24.11	1.89	7.67	0.36	0.56	0.96	17	0.37	0.18	0.01	1.58	96.61	0.51	0.35	0.57
PR121	3.29	19.33	254.33	26.31	1.90	10.33	0.36	0.65	1.00	47	1.85	0.97	0.13	-0.02	102.58	0.49	0.74	1.80
PR125	2.45	12.67	97.00	16.17	1.83	4.33	0.55	0.35	1.06	29	0.03	0.00	0.00	0.83	114.23	0.52	0.27	0.31
PR126	4.04	15.33	146.33	19.96	1.86	9.67	0.43	0.51	1.05	16	0.12	0.05	0.02	1.02	90.30	0.52	0.29	0.55
PR136	4.00	20.00	300.00	54.55	3.64	16.33	0.65	1.07	1.82	37	1.34	0.69	0.09	1.88	173.21	0.50	0.60	1.15
PR144	3.43	16.67	208.33	44.64	3.57	10.33	0.68	0.84	1.79	36	0.80	0.41	0.07	1.61	173.21	0.51	0.47	0.83
PR165	1.86	10.00	75.00	25.00	3.33	9.00	1.50	1.11	1.67	37	0.15	0.07	0.02	0.87	173.21	0.52	0.30	0.15
PR168	4.03	20.67	320.33	56.53	3.65	17.67	0.65	1.12	1.82	37	1.36	0.71	0.09	1.89	173.21	0.50	0.61	1.17
PR174	3.98	19.33	280.33	52.56	3.63	15.00	0.64	1.01	1.81	37	1.31	0.68	0.09	1.87	173.21	0.50	0.60	1.14
PR178	1.61	8.00	48.00	19.20	3.20	10.33	2.00	1.46	1.60	39	0.16	0.07	0.02	0.76	173.21	0.52	0.30	0.26
PR179	2.53	13.33	133.33	34.78	3.48	3.33	0.68	0.62	1.74	36	0.28	0.14	0.04	1.19	173.21	0.51	0.33	0.33
PR191	3.82	18.67	261.33	50.58	3.61	13.33	0.64	0.94	1.81	37	1.15	0.60	0.08	1.79	173.21	0.50	0.56	1.05
PR196	4.82	21.33	341.33	58.51	3.66	20.00	0.65	1.21	1.83	38	2.37	1.24	0.13	2.26	173.21	0.48	0.87	1.62
PR202	3.73	18.00	243.00	48.60	3.60	12.00	0.64	0.88	1.80	37	1.06	0.55	0.08	1.75	173.21	0.50	0.53	1.00
PR235	5.22	22.00	363.00	60.50	3.67	21.33	0.65	1.26	1.83	38	2.99	1.57	0.15	2.45	173.21	0.47	1.03	1.85
PR838	2.36	12.00	97.33	15.78	1.84	5.33	0.72	0.33	0.97	31	0.07	0.02	0.01	0.96	142.29	0.52	0.28	0.07
C1	5.68	14.00	140.33	10.94	1.07	19.33	0.22	0.53	0.55	35	2.52	1.32	0.29	0.27	90.47	0.48	0.91	1.07
C2	4.96	17.33	202.33	17.34	1.40	9.00	0.28	0.46	0.74	33	1.57	0.82	0.11	0.08	63.76	0.49	0.66	0.76
C3	4.60	15.33	156.33	14.00	1.28	15.33	0.28	0.50	0.69	37	1.80	0.94	0.20	0.35	95.09	0.49	0.72	0.67
C4	2.74	13.33	105.33	10.36	1.12	7.67	0.29	0.37	0.66	33	0.35	0.17	0.01	0.43	59.77	0.51	0.35	0.54
C5	7.15	18.67	261.33	21.19	1.51	17.67	0.28	0.55	0.76	35	4.36	2.30	0.45	-0.17	87.70	0.45	1.38	0.98
C6	4.78	14.67	124.00	11.27	1.09	17.00	0.31	0.55	0.67	38	1.91	1.00	0.23	0.40	97.12	0.49	0.75	0.74
C7	4.34	17.33	209.33	19.32	1.54	11.67	0.28	0.43	0.80	36	1.42	0.74	0.13	0.24	79.20	0.50	0.62	0.61

rendah sampai tinggi yang diisi oleh genotipe PR20, PR54, PR56, PR79, PR84, PR114, PR115, PR118, PR125, PR126, PR179, PR838, dan C4. Pada sub kelompok ini genotipe PR79, PR118, dan PR126 merupakan genotipe baru dengan hasil diatas rata-rata keseluruhan dan stabil di tiga lingkungan pengujian. Sub kelompok kedua berisi genotipe-genotipe yang memiliki hasil panen rendah serta tidak stabil di semua lingkungan pengujian, mereka adalah PR17, PR39, PR43, PR53, PR165, dan PR178. Beberapa peneliti juga telah berhasil menyeleksi genotipe stabil berdaya hasil tinggi dengan pengukuran stabilitas parametrik dan non-parametrik, diantaranya Khalili dan Pour-aboughadareh (2016) pada tanaman jelai, Goksoy *et al.* (2019) pada tanaman kedelai, Vaezi *et al.* (2019) pada tanaman gandum, dan Maulana *et al.* (2020) pada tanaman ubi jalar. Dengan

demikian, genotipe-genotipe pada kelompok ketiga dengan hasil tinggi dan stabil, dapat direkomendasikan sebagai genotipe-genotipe unggul baru yang stabil dan berdaya hasil tinggi.

*Korelasi Peringkat Spearman dan Pengelompokan Model Stabilitas pada 34 Genotipe Ubi Jalar*

Berdasarkan koefisien korelasi peringkat Spearman, rata-rata hasil panen (Y) berkorelasi positif dan signifikan dengan NP<sup>(2)</sup> dan θ<sub>i</sub> (Tabel 8). Pengukuran stabilitas NP<sup>(2)</sup> dan θ<sub>i</sub> termasuk ke dalam model stabilitas statis (Becker dan Leon, 1988). Menurut Vaezi *et al.* (2019), model stabilitas yang berkorelasi positif dengan hasil panen dapat digunakan untuk merekomendasikan genotipe pada lingkungan yang

Tabel 7. Peringkat genotipe ubi jalar berdasarkan model stabilitas parametrik dan non-parametrik

Genotipe	Hasil	S <sup>(1)</sup>	S <sup>(2)</sup>	S <sup>(3)</sup>	S <sup>(6)</sup>	NP <sup>(1)</sup>	NP <sup>(2)</sup>	NP <sup>(3)</sup>	NP <sup>(4)</sup>	KR	Wi <sup>2</sup>	σ <sup>2</sup> <sub>i</sub>	S <sup>2</sup> <sub>di</sub>	bi	CVi	θ <sub>(i)</sub>	θ <sub>i</sub>	ASV	SR	AR	SD	RAR
PR17	32	9	12	23	23	16	31	31	23	34	18	18	7	21	5	18	17	24	362	20.11	8.31	24
PR20	29	5	4	6	11	11	30	17	14	7	4	4	6	8	18	4	31	5	214	11.89	9.15	7
PR39	25	20	20	25	21	10	27	22	22	31	20	20	20	22	13	20	15	31	384	21.33	5.25	26
PR43	34	16	13	11	7	24	24	18	12	33	15	15	3	19	12	15	20	19	310	17.22	7.71	21
PR53	33	3	2	3	10	22	33	27	14	29	6	6	4	13	19	6	29	9	268	14.89	10.89	10
PR54	20	20	20	19	18	6	9	8	13	14	16	16	18	9	21	16	19	11	273	15.17	4.63	11
PR56	23	12	18	26	26	7	29	21	26	11	12	12	16	11	28	12	23	10	323	17.94	7.08	22
PR79	2	1	1	1	1	20	1	6	1	1	14	14	17	12	4	14	21	18	149	8.28	7.51	1
PR84	24	7	9	10	14	2	13	2	11	7	9	9	13	5	20	9	26	3	193	10.72	6.67	6
PR114	19	16	15	17	15	11	15	10	20	14	17	17	15	14	22	17	18	15	287	15.94	2.82	13
PR115	21	12	11	13	16	1	12	1	17	4	1	1	1	3	15	1	34	6	170	9.44	8.84	3
PR118	4	23	25	20	19	8	11	16	9	3	13	13	8	16	10	13	22	14	247	13.72	6.15	9
PR121	18	29	27	22	20	16	10	20	14	32	29	29	28	32	14	29	6	33	408	22.67	8.02	28
PR125	27	7	6	9	12	4	16	4	19	5	2	2	2	6	16	2	33	7	179	9.94	8.75	4
PR126	11	16	17	16	17	15	14	12	18	1	5	5	11	1	7	5	30	13	214	11.89	6.96	8
PR136	13	31	31	31	31	28	20	28	31	19	24	24	24	29	28	24	11	29	456	25.33	5.97	31
PR144	17	22	23	27	27	16	25	23	27	14	19	19	19	18	28	19	16	22	381	21.17	4.23	25
PR165	30	4	5	21	24	13	32	29	23	19	7	7	12	4	28	7	28	2	295	16.39	10.35	18
PR168	12	32	32	32	32	30	21	30	32	19	25	25	25	30	23	25	10	30	465	25.83	6.59	32
PR174	14	29	30	30	30	26	19	26	30	19	23	23	23	28	25	23	12	28	438	24.33	5.3	30
PR178	31	2	3	14	22	16	34	34	21	29	8	8	10	10	25	8	27	4	306	17	10.71	20
PR179	26	9	14	24	25	3	26	19	25	14	10	10	14	7	23	10	25	8	292	16.22	7.63	16
PR191	15	27	28	29	29	25	18	25	29	19	22	22	22	26	28	22	13	26	425	23.61	4.73	29
PR196	7	33	33	33	33	33	22	32	33	26	31	31	29	33	28	31	4	32	504	28	8.47	33
PR202	16	26	26	28	28	22	17	24	28	19	21	21	21	24	25	21	14	25	406	22.56	4.07	27
PR235	5	34	34	34	34	34	23	33	34	26	33	33	30	34	28	33	2	34	518	28.78	9.47	34
PR838	28	6	7	8	13	5	28	3	10	6	3	3	9	2	17	3	32	1	184	10.22	9.43	5
C1	3	12	16	4	2	32	2	13	2	11	32	32	33	23	8	32	3	27	287	15.94	12.17	14
C2	6	23	22	12	6	13	6	9	6	7	27	27	26	31	2	27	8	21	279	15.5	9.45	12
C3	9	16	19	7	5	27	5	11	5	19	28	28	31	20	9	28	7	17	291	16.17	9.01	15
C4	22	9	8	2	4	8	7	5	3	7	11	11	5	15	1	11	24	12	165	9.17	6.09	2
C5	1	27	29	18	8	30	3	15	7	11	34	34	34	27	6	34	1	23	342	19	12.21	23
C6	8	15	10	5	3	29	8	14	4	26	30	30	32	17	11	30	5	20	297	16.5	10.21	19
C7	10	23	24	15	9	21	4	7	8	14	26	26	27	25	3	26	9	16	293	16.28	8.29	17

Keterangan : SR = jumlah peringkat stabilitas; AR = rata-rata peringkat stabilitas; SD = standar deviasi; RAR = peringkat dari AR

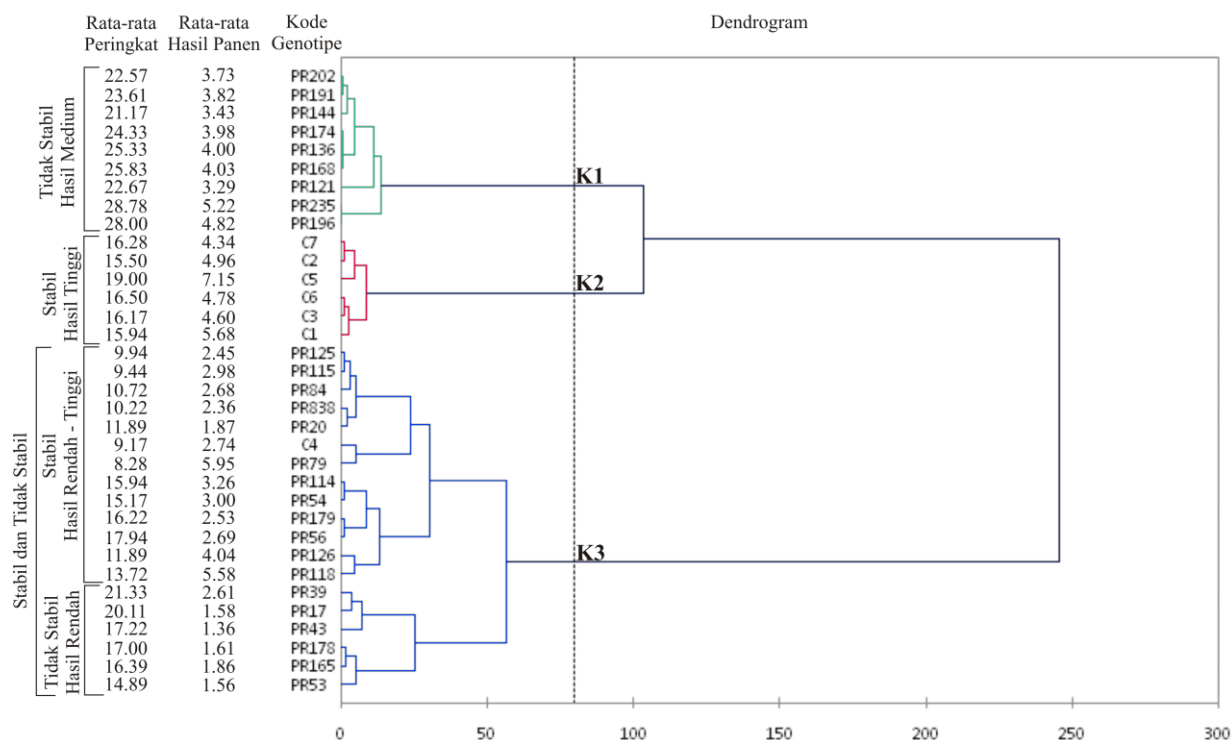
kurang menguntungkan (*unfavorable*). Oleh karena itu, pengukuran stabilitas NP<sup>(2)</sup> dan θ<sub>i</sub> termasuk dalam kelompok ini.

Korelasi positif dan signifikan lainnya yaitu S<sup>(1)</sup> terhadap S<sup>(2)</sup>, S<sup>(3)</sup>, S<sup>(6)</sup>, NP<sup>(1)</sup>, Wi<sup>2</sup>, σ<sup>2</sup><sub>i</sub>, S<sup>2</sup><sub>di</sub>, bi, θ<sub>(i)</sub>, dan ASV, serta berkorelasi negatif dan signifikan terhadap θ<sub>i</sub>. S<sup>(2)</sup> berkorelasi positif dan signifikan terhadap S<sup>(3)</sup>, S<sup>(6)</sup>, NP<sup>(1)</sup>, Wi<sup>2</sup>, σ<sup>2</sup><sub>i</sub>, S<sup>2</sup><sub>di</sub>, bi, θ<sub>(i)</sub>, dan ASV, serta berkorelasi negatif dan signifikan terhadap θ<sub>i</sub>. S<sup>(3)</sup> berkorelasi positif dan signifikan terhadap S<sup>(6)</sup>, NP<sup>(3)</sup>, NP<sup>(4)</sup>, bi, CVi, dan ASV. Model stabilitas S<sup>(6)</sup> berkorelasi positif dan signifikan terhadap NP<sup>(2)</sup>, NP<sup>(3)</sup>, NP<sup>(4)</sup>, dan CVi. NP<sup>(1)</sup> berkorelasi positif terhadap NP<sup>(3)</sup>, KR, Wi<sup>2</sup>, σ<sup>2</sup><sub>i</sub>, S<sup>2</sup><sub>di</sub>, bi, θ<sub>(i)</sub>, dan ASV serta berkorelasi negatif dengan θ<sub>i</sub>. NP<sup>(2)</sup> berkorelasi positif dan signifikan terhadap NP<sup>(3)</sup>, NP<sup>(4)</sup>, dan KR. NP<sup>(3)</sup> berkorelasi positif dan signifikan

dengan NP<sup>(4)</sup>, KR, dan CVi. NP<sup>(4)</sup> berkorelasi positif dan signifikan dengan CVi. Model stabilitas KR berkorelasi positif dan signifikan dengan bi.

Model stabilitas Wi<sup>2</sup> berkorelasi positif dan nyata terhadap σ<sup>2</sup><sub>i</sub>, S<sup>2</sup><sub>di</sub>, bi, θ<sub>(i)</sub>, dan ASV, serta berkorelasi negatif dan nyata dengan θ<sub>i</sub>. Model stabilitas σ<sup>2</sup><sub>i</sub> berkorelasi positif dengan S<sup>2</sup><sub>di</sub>, bi, θ<sub>(i)</sub>, dan ASV, serta berkorelasi negatif dengan θ<sub>i</sub>. Model stabilitas S<sup>2</sup><sub>di</sub> berkorelasi positif dan signifikan terhadap bi, θ<sub>(i)</sub>, dan ASV serta berkorelasi negatif dan signifikan dengan θ<sub>i</sub>. Model stabilitas bi berkorelasi positif dan signifikan terhadap θ<sub>(i)</sub> dan ASV, serta berkorelasi negatif dengan θ<sub>i</sub>. Model stabilitas θ<sub>(i)</sub> berkorelasi positif signifikan dengan ASV dan berkorelasi negatif signifikan dengan θ<sub>i</sub>. Model stabilitas θ<sub>i</sub> berkorelasi negatif dan signifikan terhadap ASV.





Gambar 1. Pengelompokan genotipe ubi jalar berdasarkan hasil panen dan peringkat stabilitas

*Principal component analysis* (PCA) digunakan untuk mengelompokkan model stabilitas. Lima PC pertama dengan *eigenvalue* >1 bernilai 90.08% dari total variasi (Tabel 9). Karena dua komponen pertama memiliki nilai variabilitas tertinggi (masing-masing 39.67% dan 27.37%) dan *eigenvalue* (masing-masing 13.49 dan 9.31), maka PCA di ekstrak dari kedua komponen tersebut (PC1 dan PC2) (Khalili and Pour-aboughadareh, 2016; Vaezi *et al.*, 2017). Hasil analisis PCA tersaji pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan pengelompokan model stabilitas parametrik dan non-parametrik. Model-model yang digunakan diklasifikasikan menjadi empat kelompok utama, yaitu kelompok pertama (K1) berisi model stabilitas CV<sub>i</sub>, S<sup>(3)</sup>, S<sup>(6)</sup>, dan NP<sup>(4)</sup>. Kelompok kedua (K2) berisi model stabilitas S<sup>(1)</sup>, S<sup>(2)</sup>, ASV, bi, NP<sup>(1)</sup>, S<sup>2</sup><sub>di</sub>, Wi<sup>2</sup>, dan σ<sup>2</sup><sub>i</sub>. Kelompok ketiga (K3) berisi model stabilitas NP<sup>(3)</sup> dan KR. Ketiga kelompok ini merepresentasikan model stabilitas dinamis, karena berada pada kelompok berbeda dengan hasil (Mohammadi dan Amri, 2008). Menurut beberapa penelitian, kelompok ini dapat merekomendasikan genotipe pada lingkungan yang menguntungkan (*favorable*) (Farshadfar *et al.*, 2012; Khalili dan Pour-aboughadareh, 2016; Vaezi *et al.*, 2019). Kelompok keempat (K4) berisi hasil (Y) dan model stabilitas NP<sup>(2)</sup> dan θ<sub>i</sub>, kedua model ini merupakan model stabilitas statis, yang dapat merekomendasikan genotipe pada lingkungan yang kurang menguntungkan.

#### Stabilitas Hasil Berdasarkan GGE Biplot

Visualisasi stabilitas hasil genotipe-genotipe ubi jalar, menggunakan analisis GGE biplot. Hasil analisis GGE

biplot pada 34 genotipe ubi jalar, menunjukkan bahwa PC1 dan PC2 masing-masing menyumbang 72.5 dan 26.2% dari total variasi hasil panen ubi jalar (Gambar 3). Pola ‘*which won where*’ menunjukkan bahwa tiga lokasi memiliki tujuh sektor dengan genotipe puncak yang berbeda. Terdapat dua lingkungan yang berada pada sektor yang sama (Sektor 1) yaitu Bandung dan Karawang dengan genotipe puncak C1. Genotipe puncak pada lokasi Sumedang yaitu genotipe PR235. Genotipe-genotipe yang berada pada puncak setiap sektor menunjukkan bahwa genotipe-genotipe tersebut memiliki hasil tinggi pada lingkungan yang berada di sektor tersebut (Rad *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2016; Mustamu *et al.*, 2018). Genotipe-genotipe yang berada pada sektor yang berisi lebih dari satu lingkungan atau lingkungan mega, menunjukkan genotipe yang ideal (Xu *et al.*, 2014; Gurmur, 2017; Erdemci, 2018). Oleh karena itu, pada pengujian ini genotipe-genotipe yang termasuk ideal adalah PR79, PR121, PR126, C1, C2, C3, C5, dan C6. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa genotipe puncak yang terletak pada sektor yang tidak berisi lingkungan, memiliki hasil panen yang rendah di semua lokasi pengujian, sehingga genotipe-genotipe pada sektor ini kurang direkomendasikan.

Hasil analisis GGE biplot menunjukkan bahwa beberapa genotipe teridentifikasi mendekati titik pusat sumbu. Genotipe-genotipe tersebut adalah PR54, PR56, PR79, PR84, PR114, PR115, PR125, PR126, PR144, PR168, PR174, PR 179, PR191, dan PR202. Beberapa peneliti mengungkapkan bahwa genotipe yang berada dekat dengan sumbu pusat (0.00), merupakan genotipe yang stabil (Zhang *et al.*, 2016; Mustamu *et al.*, 2018). Hasil pengukuran GGE biplot, parametrik dan non-parametrik, menunjukkan pola

Tabel 8. Korelasi peringkat Spearman hasil panen terhadap model stabilitas parametrik dan non-parametrik pada 34 genotipe ubi jalar

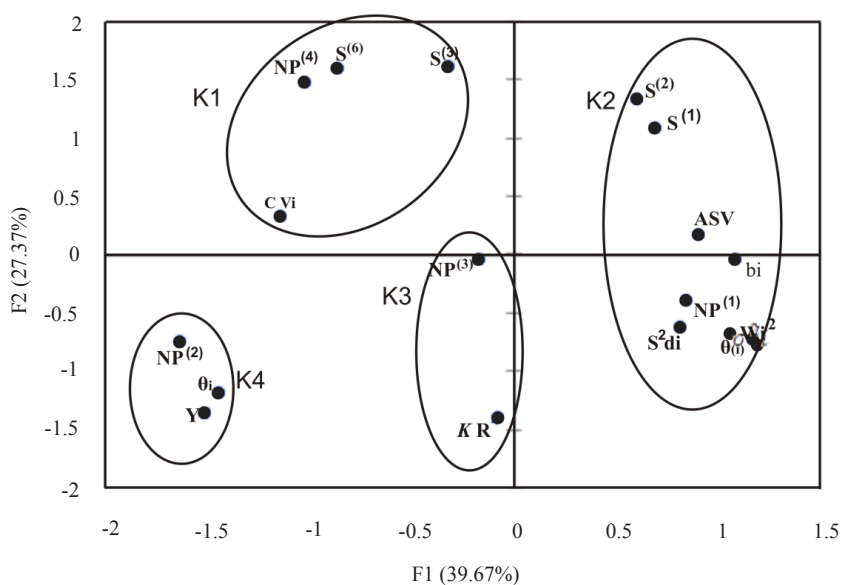
Model	Hasil	S <sup>(1)</sup>	S <sup>(2)</sup>	S <sup>(3)</sup>	S <sup>(6)</sup>	NP <sup>(1)</sup>	NP <sup>(2)</sup>	NP <sup>(3)</sup>	NP <sup>(4)</sup>	KR	W <sub>i</sub> <sup>2</sup>	σ <sub>i</sub> <sup>2</sup>	s <sup>2</sup> d <sub>i</sub>	bi	CV <sub>i</sub>	θ <sub>(i)</sub>	θ <sub>i</sub>
Hasil																	
S <sup>(1)</sup>	-0.57*																
S <sup>(2)</sup>	-0.58*	0.98**															
S <sup>(3)</sup>	-0.13	0.72**	0.78**														
S <sup>(6)</sup>	0.08	0.51*	0.57*	0.93**													
NP <sup>(1)</sup>	-0.52*	0.53*	0.51*	0.26	0.14												
NP <sup>(2)</sup>	0.73**	-0.24	-0.20	0.34	0.55*	-0.14											
NP <sup>(3)</sup>	0.10	0.33	0.38	0.67*	0.71**	0.54*	0.63*										
NP <sup>(4)</sup>	0.19	0.43	0.47	0.87**	0.95**	0.17	0.64*	0.73**									
KR	0.27	0.28	0.25	0.39	0.36	0.50*	0.43	0.73**	0.41								
W <sub>i</sub> <sup>2</sup>	-0.69*	0.73**	0.73**	0.36	0.10	0.77**	-0.42	0.30	0.05	0.42							
σ <sub>i</sub> <sup>2</sup>	-0.69*	0.73**	0.73**	0.36	0.10	0.77**	-0.42	0.30	0.05	0.42	1.00**						
s <sup>2</sup> d <sub>i</sub>	-0.74**	0.64*	0.67*	0.33	0.10	0.69*	-0.44	0.21	0.03	0.26	0.92**	0.92**					
Bi	-0.52*	0.81**	0.79**	0.50*	0.29	0.74**	-0.21	0.48	0.26	0.51*	0.89**	0.89**	0.72**				
Cv <sub>i</sub>	0.22	0.22	0.28	0.66*	0.80**	0.10	0.60*	0.59*	0.82**	0.31	-0.04	-0.04	0.05	0.06			
θ <sub>(i)</sub>	-0.69*	0.73**	0.73**	0.36	0.10	0.77**	-0.42	0.30	0.05	0.42	1.00**	1.00**	0.92**	0.89**	-0.04		
θ <sub>i</sub>	0.69*	-0.73**	-0.73**	-0.36	-0.10	-0.77**	0.42	-0.30	-0.05	-0.42	-1.00**	-1.00**	-0.92**	-0.89**	0.04	-1.00**	
ASV	-0.54*	0.80**	0.78**	0.56*	0.35	0.72**	-0.20	0.47	0.33	0.49	0.84**	0.84**	0.69*	0.91**	0.07	0.84**	-0.84**

Keterangan: \*menunjukkan korelasi yang signifikan pada taraf 5% (p<0.05); \*\*menunjukkan korelasi yang signifikan pada taraf 1 (p<0.01)

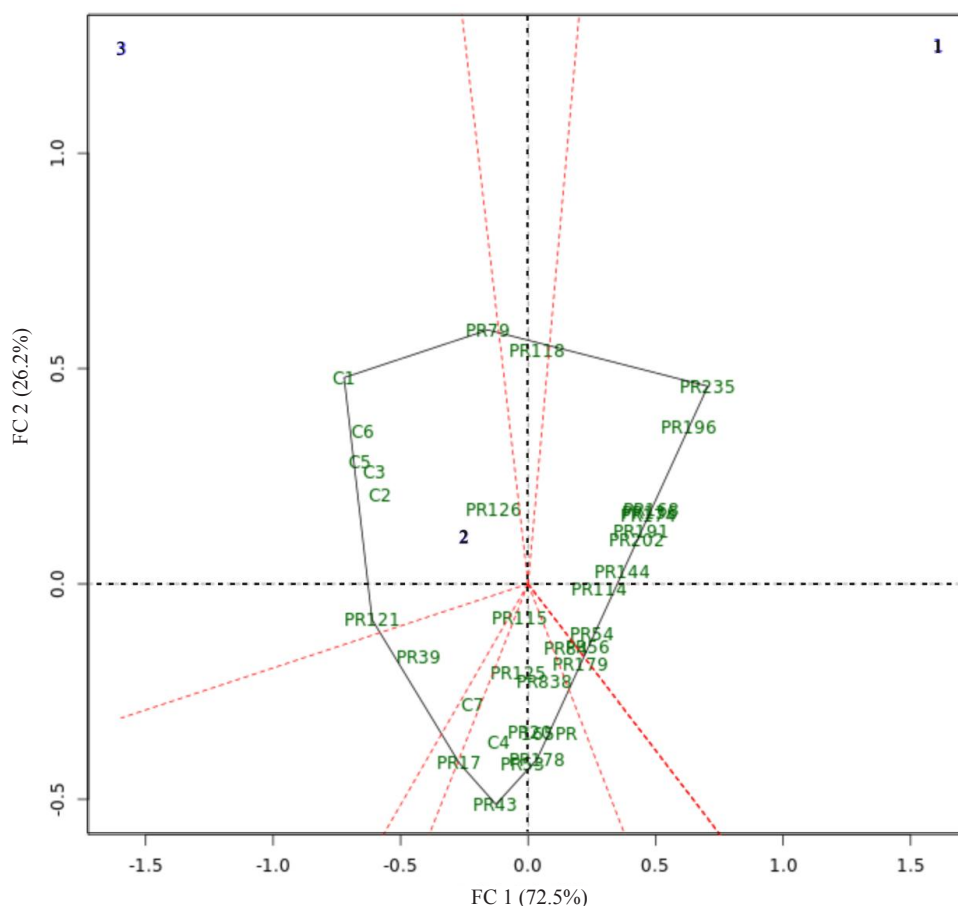
Tabel 9. Eigenvalue, variability, dan cumulative model stabilitas parametrik dan non-parametrik pada 34 genotipe ubi jalar

PC	1	2	3	4	5
Eigenvalue	13.49	9.31	3.84	2.16	1.83
Variability (%)	39.67	27.37	11.30	6.34	5.39
Cumulative (%)	39.67	67.05	78.35	84.69	90.08

Keterangan: PC = Principal component



Gambar 2. Pengelompokan model stabilitas pada 34 genotipe ubi jalar berdasarkan PCA



Gambar 3. Grafik GGE biplot “which won where” pada 34 genotipe ubi jalar (1 = Kabupaten Sumedang, 2 = Kabupaten Bandung, 3 = Kabupaten Karawang)

yang mirip dalam menyeleksi genotipe ideal (stabil dan berdaya hasil tinggi). Berdasarkan gabungan pendekatan model stabilitas, terseleksi dua genotipe baru yang ideal pada tiga lingkungan pengujian, yaitu genotipe PR79 dan PR126. Kedua genotipe tersebut dapat direkomendasikan sebagai genotipe unggul baru yang stabil dan berdaya hasil tinggi pada tiga lingkungan pengujian dan sebagai bahan untuk program pemuliaan tanaman ubi jalar selanjutnya.

### KESIMPULAN

Efek interaksi genotipe dengan lingkungan (GxE) berpengaruh secara signifikan terhadap hasil panen ubi jalar dengan kontribusi sebesar 14.17%. Dua genotipe terseleksi memiliki hasil yang tinggi dan stabil pada tiga lokasi pengujian berdasarkan pengukuran stabilitas parametrik, non-parametrik, dan GGE biplot, yaitu PR79 dan PR126. Pengukuran  $NP^{(2)}$  dan  $\theta_i$  termasuk model pengukuran stabilitas statis yang dapat merekomendasikan genotipe stabil pada lingkungan yang kurang menguntungkan (*unfavorable*), sedangkan pengukuran  $S^{(1)}$ ,  $S^{(2)}$ ,  $S^{(3)}$ ,  $S^{(6)}$ ,  $NP^{(1)}$ ,  $NP^{(3)}$ ,  $NP^{(4)}$ , KR, CVi, bi,  $S^2_{di}$ ,  $Wi^2$ , ASV, dan  $\sigma^2_i$  merupakan model stabilitas dinamis yang dapat merekomendasikan genotipe stabil pada lingkungan yang menguntungkan (*favorable*).

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh RISPRO-LPDP, Kementerian Keuangan Republik Indonesia (No. Kontrak: 41/LPDP/2018). Terima kasih kepada Koko Tjintokohadi (CIP-ESEAP) dan Wolfgang Gruneberg (CIP-Peru) yang telah memberikan materi genetik ubi jalar.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abate, F., F. Mekbib, Y. Dessalegn. 2015. Association of different parametric and non parametric stability models in durum wheat (*Triticum turgidum* Desf.) genotypes. *Int. J. Plant Soil Sci.* 7:192-201.
- Adebola, P.O., A. Shegro, S.M. Laurie, L.N. Zulu, M. Pillay. 2013. Genotype x environment interaction and yield stability estimate of some sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] breeding lines in South Africa. *J. Plant Breed. Crop Sci.* 5:182-186.
- Ahmadi, J., B. Vaezi, A. Shaabani, K. Khademi, S.F. Ourang. 2015. Non-parametric measures for yield stability in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) advanced lines in semi warm regions. *J. Agric. Sci. Technol.* 17:1825-1838.

- Ajay, B.C., S.K. Bera, A.L. Singh, N. Kumar, K. Gangadhar, P. Kona. 2020. Evaluation of genotype x environment interaction and yield stability analysis in peanut under phosphorus stress condition using stability parameters of AMMI model. *Agric. Res.* 9:1-10.
- Andrade, M.I., A. Naico, J. Ricardo, R. Eyzaguirre, G.S. Makunde, R. Ortiz, W.J. Gruneberg. 2016a. Genotype x environment interaction and selection for drought adaptation in sweetpotato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam.) in Mozambique. *Euphytica* 209:261-280.
- Andrade, M.I., J. Ricardo, A. Naico, A. Alvaro, G.S. Makunde, J. Low, R. Ortiz, W.J. Gruneberg. 2016b. Release of orange-fleshed sweetpotato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam.) cultivars in Mozambique through an accelerated breeding scheme. *J. Agric. Sci.* 2016: 1-11.
- Becker, H.C., J. Leon. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breed.* 101:1-23.
- Dia, M., T.C. Wehner, C. Arellano. 2016. Analysis of genotype x environment interaction (G x E) using SAS programming. *Agron. J.* 108:1838-1852.
- Eberhart, S.A., W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- Erdemci, I. 2018. Investigation of genotype x environment interaction in chickpea genotypes using AMMI and GGE biplot analysis. *Turkish J. F. Crop.* 23:20-26. doi: 10.17557/tjfc.414846.
- Farshadfar, E., S.H. Sabaghpour, H. Zali. 2012. Comparison of parametric and non-parametric stability statistics for selecting stable chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under diverse environments. *Aust. J. Crop Sci.* 6:514-524.
- Francis, T.R., L.W. Kannenberg. 1978. Yield stability studies in short-season maize: I. A descriptive method for grouping genotypes. *Can. J. Plant Sci.* 5:1029-1034.
- Goksoy, A.T., M. Sincik, M. Erdogmus, M. Ergin, S. Aytac, G. Gumuscu, O. Gunduz, R. Keles, G. Bayram, E. Seyigit. 2019. The parametric and non-parametric stability analyses for interpreting genotype by environment interaction of some soybean genotypes. *Turkish J. Fiel Crops* 24:28-38.
- Gurmu, F. 2017. Stability analysis of fresh root yield of sweetpotato in Southern Ethiopia using GGE biplot. *Int. J. Pure Agric. Adv.* 1:1-9.
- Haldavanekar, P.C., S.G. Bhave, R.G. Kahandekar, S.G. Kadam, S.S. Sawant. 2011. Stability analysis in sweet potato (*Ipomea batatas* L.). *Karnatakan J. Agric. Sci.* 24:358-361.
- Hariadi, H., M. Sunyoto, B. Nurhadi, A. Karuniawan. 2018. Comparison of phytochemical characteristics pigmen extract (Antosianin) sweet purple potatoes powder (*Ipomoea batatas* L) and clitoria flower (*Clitoria ternatea*) as natural dye powder. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 7:3420-3429.
- Hastini, T., W.B. Suwarno, M. Ghulamahdi, H. Aswidinnoor. 2020. Interaksi genotype x musim karakter percabangan malai tiga genotype padi sawah. *J. Agron. Indonesia* 48:1-7.
- Huehn, M. 1990. Nonparametric measures of phenotypic stability . Part 1 : Theory. *Euphytica* 47:189-194.
- Kang, M.S. 1988. A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Res. Commun.* 16:113-115.
- Kathabwalika, D.M., E.H.C. Chilembwe, V.M. Mwale, D. Kambewa, J.P. Njoloma. 2013. Plant growth and yield stability of orange fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas*) genotypes in three agro-ecological zones of Malawi. *Int. Res. J. Agric. Sci. Soil Sci.* 3:383-392.
- Khalili, M., A. Pour-aboughadareh. 2016. Parametric and non-parametric measures for evaluation yield stability and adaptability in barley doubled haploid lines. *J. Agric. Sci. Technol.* 18:789-803.
- Laurie, S.M., M. Booyse, M. Labuschagne, M.M. Greyling. 2015. Multienvironment performance of new orange-fleshed sweetpotato cultivars in South Africa. *Crop Sci.* 55:1585-1595.
- Lestari, S.U., I.H. Ricky. 2015. Dual-purpose assessment for sweetpotato. *AGRIVITA J. Agric. Sci.* 37:123-129.
- Mau, Y.S., A.S.S. Ndiwa, I.G.B. Adwita Arsa, S.S. Oematan. 2013. Growth and yield stability of sweet potato clones across four locations in East Nusa Tenggara. *AGRIVITA J. Agric. Sci.* 35:95-102.
- Maulana, H., S. Dewayani, M.A. Solihin, M. Arifin, S. Amien, A. Karuniawan. 2020. Yield stability dataset of new orange fleshed genotypes in West Java, Indonesia. *Data Br.* 32: 106297.
- Maulana, H., D.M. Nugroho, L. Trimo, A. Karuniawan. 2016. Participatory selection of sweet potato based on farmers preferences in Banjar city. *Proceedings of SABRAO 13<sup>th</sup> Congress and International Congress.* IPB Press, Bogor, 14-16 September 2015.
- Maulana, H., H. Prayudha, Y.L. Filio, R. Suci Mulyani, D. Ustari, S. Dewayani, E. Solihin, A. Karuniawan. 2018. Variabilitas genetik F1 orange fleshed sweet potato (OFSP) asal Peru di Jatinangor berdasarkan karakter agromorfologi. *Zuriat* 29:88-94.

- Mohammadi, R., A. Amri. 2008. Comparison of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in variable environments. *Euphytica* 159:419-432.
- Mustamu, Y.A., K. Tjintokohadi, W.J. Gruneberg, A. Karuniawan, D. Ruswandi. 2018. Selection of superior genotype of sweet-potato in Indonesia based on stability and adaptability. *Chil. J. Agric. Res.* 78:461-469.
- Ngailo, S., H. Shimelis, J. Sibiyi, K. Mtunda, J. Mashilo. 2019. Genotype-by-environment interaction of newly-developed sweet potato genotypes for storage root yield, yield-related traits and resistance to sweet potato virus disease. *Heliyon* 5:1-23.
- Oliveira, E.J. de, J.P.X. de Freitas, O.N. de Jesus. 2014. AMMI analysis of the adaptability and yield stability of yellow passion fruit varieties. *Sci. Agric.* 7:139-145.
- Opafola, O., D. Adekunle, N. Lawal, A.A. Babalola. 2018. Estimation of water needs of sweet potato (*Ipomea batatas*) using the penman-monteith model in Abeokuta, Southwestern Nigeria. *Arid Zo. J. Eng. Technol. Environ.* 14:143-152.
- Petersen, R.G. 1994. *Agricultural field experiments : design and analysis.* Marcel dekker inc, New York, USA.
- Plaisted, R.L. 1960. A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. *Am. Potato J.* 37:166-172.
- Plaisted, R.L., L.C. Peterson. 1959. A technique for evaluating the ability of selection to yield consistently in different locations or seasons. *Am. Potato J.* 36: 381-385.
- Pour-aboughadareh, A., M. Yousefian, H. Moradkhani, P. Poczai, K.H.M. Siddique. 2019. STABILITYSOFT : A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. *Applcations Plant Sci.* 7:1-6.
- Prayudha, H.N., A.M. Noerrizki, H. Maulana, D. Ustari, N. Rostini, A. Karuniawan. 2019. Keragaman genetik klon ubi jalar ungu berdasarkan karakter morfologi dan agronomi. *Bul. Palawija* 17:94-101.
- Purchase, J.L., H. Hatting, C.S. van Deventer. 2000. Genotype  $\times$  environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa : II. Stability analysis of yield performance. *South African J. Plant Soil* 17:101-107.
- Purwokurniawan, B.S. Purwoko, D. Wirnas, I.S. Dewi. 2014. Potensi dan stabilitas hasil, serta adaptabilitas galur-galur padi gogo tipe baru hasil kultur anthera. *J. Agron. Indonesia* 42:9-16.
- Rad, M.R.N., M.A. Kadir, M.Y. Rafii, H.Z.E. Jaafar, M.R. Naghavi, F. Ahmadi. 2013. Genotype  $\times$  environment interaction by AMMI and GGE biplot analysis in three consecutive generations of wheat (*Triticum aestivum*) under normal and drought stress conditions. *Aust. J. Crop Sci.* 7:956-961.
- Rukundo, P., H. Shimelis, M. Laing, D. Gahakwa. 2017. Combining ability, maternal effects, and heritability of drought tolerance, yield and yield components in sweetpotato. *Front. Plant Sci.* 7:1-14.
- Ruswandi, D., Y. Yuwariah, M. Ariyanti, M. Syafii, A. Nuraini. 2020. Stability and adaptability of yield among earliness sweet corn hybrids in West Java, Indonesia. *Int. J. Agron.* 2020:1-9.
- Sabaghnia, N., M. Mohammadi, R. Karimizadeh. 2013. Parameters of AMMI model for yield stability analysis in durum wheat. *Agric. Conseptus Sci.* 78:119-124.
- Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity* 29:237-245.
- Solihin, M.A., R.P. Santun, S.R.P. Sitorus, A. Sutandi, Widiatmaka. 2018. Discriminating land characteristics of yield and total sugar content classes of cilembu sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *AGRIVITA J. Agric. Sci.* 40:15-24.
- Sunyoto, M., R. Andoyo, E. Masitoh. 2019. Characteristics of high protein snackbar made of modified sweet potato flour. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.* 9:422-427.
- Thennarasu, K. 1995. On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. *Disertasi.* PJ School, IARI, New Delhi, India, IN.
- Vaezi, B., A. Pour-Aboughadareh, A. Mehraban, T. Hossein-Pour, R. Mohammadi, M. Armion, M. Dorri. 2017. The use of parametric and non-parametric measures for selecting stable and adapted barley lines. *Arch. Agron. Soil Sci.* 64:597-611.

- Vaezi, B., A. Pour-Aboughadareh, R. Mohammadi, A. Mehraban, T. Pour-Hosseini, E. Koochkan, S. Ghasemi, H. Moradkhani, K.H.M. Siddique. 2019. Integrating different stability models to investigate genotype x environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. *Euphytica* 5:1-18.
- Waluyo, B., A.A. Roosda, N. Istifadah, D. Ruswandi, A. Karuniawan. 2015. Identification of fifty sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) promising clones for bioethanol raw materials. *Energy Procedia* 65:22-28.
- Wricke, G. 1962. Übereine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* 47:92-96.
- Xu, N.Y., F. Michel, Z. Guo-wei, L. Jian, Z. Zhi-guo. 2014. The application of GGE biplot analysis for evaluating test locations and mega-environment investigation of cotton regional trials. *J. Integr. Agric.* 13:1921-1933.
- Yan, W., N.A. Tinker. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data : Principles and applications. *Can. J. Plant Sci.* 86:623-645.
- You, F.M., S.D. Duguid, D. Thambugala, S. Cloutier. 2013. Statistical analysis and field evaluation of the type 2 modified augmented design (MAD) in phenotyping of flax (*Linum usitatissimum*) germplasms in multiple environments. *Aust. J. Crop Sci.* 7:1789-1800.
- Zhang, P.P., H. Song, X.W. Ke, X.J. Jin, L.H. Yin, Y. Liu, Y. Qu, W. Su, N.J. Feng, D.F. Zheng, B.L. Feng. 2016. GGE biplot analysis of yield stability and test location representativeness in proso millet (*Panicum miliaceum* L.) genotypes. *J. Integr. Agric.* 15:1218-1227.