

Analisis Stabilitas Hasil Ubi 27 Genotipe Bengkuang (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) di Jatinangor Jawa Barat Berdasarkan Model AMMI

Sosiawan Nusifera¹ dan Agung Karuniawan²

¹Fakultas Pertanian, Universitas Jambi

²Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Bandung

ABSTRACT

Research aimed at estimating yield stability of 27 yam bean (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) genotypes in Jatinangor was conducted at dry and rain seasons at the experimental station of Faculty of Agriculture Unpad, Jatinangor. Field trials at dry season was started from February to August 2006 and at rain season started from November 2006 to May 2007. Field plot consisted of four sets arranged in Randomized Block Design with 27 genotypes collected from various Indonesia regions and its ancestor from Central and South America as treatment and replicated twice. The four field trial sets were differed based on season and reproductive pruning treatment and considered as four different environment. Character observed was tuber weight per plant (g). Data was analysed with AMMI (additive main effect and multiplicative interaction). Result indicated that B-23/EC040 was highest yielding genotype, but less stable. In contrast, B-33/J, B-26/NS, B-10/EC550, and B-94/ENT were moderate yielded but had higher level of stability. Environment IV (rain season; pruning) was good environment where genotypic variation seemed more consistent with B-23/EC040 as best genotype. Best genotype in discriminating environment (I) was B-55/CJ, and in environment II was B-80/ENT. Whereas in Less discriminating environment III, B-15/EC104 was the best genotype.

Key words: Yam bean, tuber, stability, AMMI.

ABSTRAK

Penelitian yang bertujuan untuk mengetahui stabilitas hasil dari 27 genotipe bengkuang (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) telah dilakukan pada musim kemarau dan musim hujan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Unpad, Jatinangor. Percobaan pada musim kemarau berlangsung sejak Februari-Agustus 2006 dan percobaan pada musim hujan berlangsung sejak November 2006-Mei 2007. Percobaan terdiri atas empat set, masing-masing disusun dalam rancangan acak kelompok dengan 27 genotipe bengkuang yang dikoleksi dari berbagai wilayah Indonesia dan genotipe leluhurnya dari Amerika Tengah dan Selatan sebagai perlakuan dan diulang dua kali. Empat set percobaan tersebut dibedakan berdasarkan kombinasi musim dan perlakuan pemangkasan *sink* reproduktif, atau representasi dari empat lingkungan yang berbeda. Karakter yang diamati

adalah bobot ubi per tanaman. Data dianalisis dengan model AMMI (*additive main effect and multiplicative interaction*). Hasil penelitian menunjukkan B-23/EC040 adalah genotipe berdaya hasil tertinggi, namun kurang stabil. Sebaliknya, B-33/J, B-26/NS, B-10/EC550, dan B-94/ENT adalah genotipe dengan hasil di atas rata-rata namun memiliki stabilitas yang lebih tinggi. Lingkungan IV (musim hujan dengan pemangkasan) adalah lingkungan baik di mana variasi genotipe terlihat lebih konsisten dengan B-23/EC040 sebagai genotipe terbaik. Genotipe terbaik pada lingkungan I adalah B-55/CJ, pada lingkungan II B-80/ENT, dan pada lingkungan III B-15/EC104.

Kata kunci: Bengkuang, ubi, stabilitas, AMMI.

PENDAHULUAN

Bengkuang (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) merupakan tanaman legum yang kurang populer dan dianggap tidak memiliki nilai komersial yang tinggi. Namun komoditas ini telah lama dimanfaatkan masyarakat dalam kehidupan sehari-hari, terutama untuk konsumsi segar. Selain sebagai makanan, ubi bengkuang juga memiliki potensi farmakologis sebagai obat dan kosmetika (Sorensen 1996). Berdasarkan fakta etnobotanis tersebut, pengembangan bengkuang memiliki prospek yang cukup baik.

Bengkuang telah dibudidayakan di berbagai belahan dunia dengan potensi hasil yang cukup bervariasi. Di Meksiko, hasil bengkuang yang ditanam pada lahan beririgasi mencapai 60-80 t/ha, sedangkan pada lahan kering berkisar antara 35-60 t/ha. Pada skala percobaan, hasil bengkuang pada lahan beririgasi di Meksiko, lahan kering di Costa Rica, dan lahan kering di Tonga, mencapai 100-145 t/ha (Sorensen 1996). Di Indonesia, hasil bengkuang berkisar antara 25-35 t/ha (Karuniawan 2004). Hasil ini lebih tinggi dibandingkan dengan di Malaysia yang berkisar antar 7-10 t/ha (Sorensen 1996), dan di Thailand 18-24 t/ha (Ratanadilok *et al.* 1998). Di

Brazil, hasil ubi bengkuang mencapai 50 t/ha (de Melo *et al.* 1994).

Genotipe-genotipe yang ditanam di berbagai kondisi lingkungan bervariasi seringkali menunjukkan perbedaan hasil. Hal ini terutama terlihat pada karakter kuantitatif yang dikendalikan secara poligenik. Hasil merupakan karakter kuantitatif yang sangat dipengaruhi oleh lingkungan. Perbedaan respon genotipe tersebut merupakan indikator adanya interaksi genotipe x lingkungan (Fehr 1987, Kearsley dan Pooni 1996). Dampak langsung dari interaksi genotipe x lingkungan adalah rendahnya stabilitas hasil suatu genotipe.

Stabilitas hasil merupakan salah satu syarat pelepasan suatu varietas (Baihaki 2000). Istilah stabilitas merujuk kepada perilaku tanaman pada lingkungan yang bervariasi di mana variasi lingkungan mencakup lokasi, musim, ataupun kombinasi keduanya (Piepho 1996). Kultivar yang memperlihatkan konsistensi hasil menjadi pilihan petani, dibandingkan dengan kultivar yang tidak stabil (Taranovas dan Ruzgas 2006). Oleh karena itu, kepentingan para pemulia berkaitan dengan pengembangan kultivar yang stabil pada lingkungan yang bervariasi.

Dalam mengkaji stabilitas hasil terdapat dua pendekatan yang berbeda, yaitu pendekatan yang mengacu pada konsep statis dan konsep dinamis (Becker dan Leon 1988). Menurut konsep statis, stabilitas maksimum terjadi bila hasil suatu genotipe konstan terhadap lingkungan dan disebut homeostasis. Menurut konsep dinamis, suatu genotipe dianggap stabil jika penampilannya pada lingkungan yang berbeda mendekati apa yang diharapkan dari potensi suatu lingkungan. Stabilitas maksimum terjadi jika perbedaan antara hasil genotipe dan indeks lingkungan (rata-rata genotipe yang diuji) konstan terhadap lingkungan. Oleh karena itu, mengacu kepada konsep dinamis, tujuan pemuliaan genotipe yang stabil dapat diartikan minimisasi interaksi genotipe x lingkungan (Piepho 1996).

Untuk mengetahui pemahaman tentang penyebab terjadinya interaksi perlu digunakan metode yang tepat. Secara umum metode tersebut dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu multivariat dan univariat (Lin *et al.* 1986 dalam Adugna dan Labuschagne 2002). Metode regresi gabungan (*joint regression*) paling populer di antara metode-metode

univariat karena menggunakan perhitungan dan aplikasi yang sederhana. *Additif main effect and multiplicative interaction* (AMMI) adalah metode yang populer dan merupakan alternatif utama untuk pendekatan multivariat dalam program pemuliaan (Adugna dan Labuschagne 2002).

AMMI adalah metode analisis data percobaan dua faktor perlakuan dengan pengaruh utama bersifat aditif dan pengaruh interaksi bersifat multiplikatif. Pada prakteknya, AMMI menggabungkan analisis varians sebagai model aditif dan analisis komponen utama (*Principal Component Analysis*) sebagai model multiplikatif (Gauch dan Zobel 1996). Akhir-akhir ini, model AMMI menjadi pilihan utama dalam mengkaji data percobaan multilokasi (Gauch 1992). Menurut Crossa (1990) dan Sumertajaya (1998), pendekatan AMMI jauh lebih baik dibandingkan dengan metode regresi bersama (*joint regression*) dalam mengkaji interaksi genotipe x lingkungan.

Dalam pengembangan suatu kultivar, pemulia berkepentingan dengan genotipe-genotipe yang stabil dibandingkan dengan genotipe-genotipe berdaya hasil tinggi namun tidak stabil. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi 27 genotipe bengkuang sehingga mendapatkan genotipe yang berdaya hasil tinggi dan stabil pada lingkungan yang bervariasi.

BAHAN DAN METODE

Bahan tanaman yang digunakan dalam percobaan ini adalah 27 genotipe bengkuang koleksi Laboratorium Pemuliaan Tanaman Universitas Padjadjaran (Unpad) Bandung, yang merupakan duplikat koleksi bengkuang *the yam bean project* (Karuniawan 2004). Dua puluh tujuh genotipe tersebut berasal dari Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara Timur, Meksiko, dan Guatemala.

Percobaan dilakukan pada musim kemarau dan musim hujan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Unpad, Jatinangor, dengan ordo tanah inceptisols. Penanaman pada musim kemarau dilakukan pada Februari-Agustus 2006, tanpa pengairan tambahan dan percobaan musim hujan pada bulan November 2006-Mei 2007. Percobaan terdiri atas empat set yang merupakan lingkungan yang terdiri atas kombinasi musim dan perlakuan pemangkasan

sink reproduktif. Lingkungan I adalah musim kemarau tanpa pemangkasan, lingkungan II adalah musim hujan tanpa pemangkasan, lingkungan III adalah musim kemarau dengan pemangkasan, dan lingkungan IV adalah musim hujan dengan pemangkasan. Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok yang terdiri atas 27 genotipe bengkuang dengan dua ulangan. Genotipe-genotipe tersebut ditanam pada tiga petak yang masing-masing terdiri atas sembilan genotipe. Setiap genotipe ditanam empat baris sehingga dalam satu petak terdapat 36 baris genotipe. Jarak antarbaris adalah 100 cm dan jarak antar tanaman dalam baris adalah 30 cm. Percobaan dengan pemangkasan dan tanpa pemangkasan dikondisikan sama. Percobaan pada musim hujan sama dengan musim kemarau. Pupuk yang diberikan mengacu kepada rekomendasi pemupukan ubi jalar pada lahan kering.

Karakter yang diamati adalah bobot ubi per tanaman. Data dianalisis menggunakan metode AMMI. Analisis AMMI adalah integrasi antara analisis varians untuk mengetahui efek aditif dan analisis komponen utama (PCA) untuk mengetahui efek multiplikatif dari interaksi. Hasil analisis AMMI ditampilkan dalam bentuk biplot hubungan antara rata-rata bobot ubi 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.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis varians data gabungan dari empat set percobaan memperlihatkan bahwa terdapat interaksi genotipe x lingkungan pada bobot ubi per tanaman (Tabel 1). Dalam percobaan ini, lingkungan dideterminasi oleh faktor musim dan pemangkasan. Secara ekstrim, pengaruh musim muncul akibat adanya perbedaan curah hujan yang berimplikasi pada perbedaan ketersediaan air tanah bagi tanaman. Perlakuan pemangkasan dimaksudkan untuk mengubah distribusi asimilat ke bagian ubi sehingga ukuran ubi diharapkan meningkat. Fenomena interaksi yang muncul dapat diinterpretasikan sebagai perbedaan respon genotipe pada tiap-tiap lingkungan. Meskipun pada musim hujan kondisi air diasumsikan cukup, beberapa genotipe tidak memperlihatkan peningkatan bobot ubi yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh berbedanya pola partisi asimilat dari tiap genotipe. Genotipe-genotipe tersebut cenderung memperlihatkan pertumbuhan pupus yang sangat subur, sedangkan asimilat yang didistribusikan ke bagian ubi cenderung lebih sedikit sehingga bobot ubi relatif lebih kecil dibandingkan dengan genotipe lainnya.

Analisis AMMI untuk bobot ubi dari 27 genotipe bengkuang pada empat lingkungan percobaan memperlihatkan bahwa 65,3% dari total jumlah kuadrat merupakan kontribusi dari faktor lingkungan, 4,2% merupakan pengaruh genotipe, dan 16,2% disebabkan oleh interaksi genotipe x lingkungan

Tabel 1. Hasil analisis varians gabungan pada bobot ubi per tanaman.

Sumber variasi	DB	Bobot ubi per tanaman ¹ (g)		
		JK	F hitung	Probabilitas
Lingkungan	3	0,3530	39,81	0,003**
Musim	1	0,0466	15,78	0,018*
Pemangkasan	1	0,2717	91,92	0,001**
Musim x Pemangkasan	1	0,0346	11,72	0,028*
Rep. dalam lingkungan	4	0,0118	4,66	0,002**
Genotipe	26	0,0224	1,36	0,141
Genotipe x Lingkungan	78	0,0874	1,76	0,003**
Genotipe x Musim	26	0,0338	2,05	0,006**
Genotipe x Pemangkasan	26	0,0223	1,35	0,146
Genotipe x Pemangkasan x Musim	26	0,0313	1,9	0,012*
Galat	104	0,0660		
Total	215		0,5407	

¹data hasil transformasi $1/\log X$, *signifikan pada taraf α 0,05, **signifikan pada taraf α 0,01, DB = derajat bebas, JK = jumlah kuadrat.

(Tabel 2). Hal ini mengindikasikan bahwa lingkungan percobaan sangat berbeda dan merupakan penyebab terbesar dari variasi bobot ubi, sedangkan jumlah kuadrat interaksi G x E yang 3,9 kali lebih besar dari genotipe menentukan perbedaan respon genotipe terhadap lingkungan (Tarakanovas dan Ruzgas 2006).

Jumlah kuadrat interaksi G x E dapat dijelaskan dengan nilai interaksi bilinear pertama (IPCA-1) sebesar 62,4%, 23,5% di antaranya oleh komponen IPCA-2, dan 14,2% oleh IPCA-3. Nilai komponen interaksi yang memperlihatkan signifikansi adalah

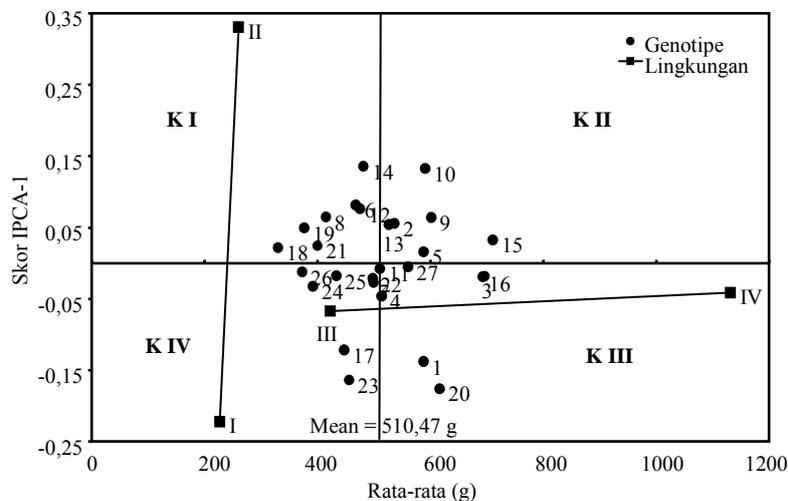
IPCA 1. Hal ini menunjukkan bahwa model AMMI yang berlaku adalah AMMI 1 (Gauch 1992). Dengan demikian, konstruksi biplot antara nilai skor IPCA (ordinat) dan nilai rata-rata bobot ubi (absis) dapat digunakan untuk mengeksplorasi interaksi G x E melalui model AMMI 1 (Gauch dan Zobel 1996, Kaya *et al.* 2002). Berdasarkan biplot tersebut dapat diketahui besarnya kontribusi tiap genotipe dan lingkungan terhadap interaksi.

Gambar 1 memperlihatkan asosiasi antara genotipe dan lingkungan pada kuadran yang sama. Gambar biplot dibagi menjadi empat kuadran, dua

Tabel 2. Analisis AMMI terhadap bobot ubi 27 genotipe bengkung.

Sumber variasi	DB	JK	KT	F hitung	Persentase yang dijelaskan (%)
Genotipe	26	0,022426	0,000863	0,141	4,15
Lingkungan	3	0,353016	0,117672	39,81**	65,29
Blok (Lingkungan)	4	0,011824	0,002956	4,66**	2,19
Genotipe x Lingkungan	78	0,087381	0,0011203	1,76**	16,16
IPCA 1	28	0,054489	0,001946	3,07**	62,36
IPCA 2	26	0,020491	0,000788	1,24	23,45
IPCA 3	24	0,012401	0,000517	0,81	14,19
Galat	104	0,066011			
Total	215	0,540658			

** Signifikan pada taraf α 0,01, DB = derajat bebas, JK = jumlah kuadrat, KT = kuadrat tengah.



1 = B-137/AC, 2 = B-138/AC, 3 = B-33/J, 4 = B-31/WS, 5 = B-26/NS, 6 = B-29/WS, 7 = B-39/WJ, 8 = B-55/CJ, 9 = B-56/CJ, 10 = B-58/EJ, 11 = B-42/WJ, 12 = B-61/EJ, 13 = B-1/EC033, 14 = B-15/EC104, 15 = B-23/EC040, 16 = B-10/EC550, 17 = B-12/EC Kew, 18 = B-6/EC533, 19 = B-7/EC041, 20 = B-19/EC557, 21 = B-74/ENT, 22 = B-77/ENT, 23 = B-80/ENT, 24 = B-89/ENT, 25 = B-86/ENT, 26 = B-90/ENT, 27 = B-94/ENT, I = musim kemarau, tanpa dipangkas, II = musim hujan, tanpa dipangkas, III = musim kemarau, dipangkas, IV = musim hujan, dipangkas, K I-K IV = kuadran I-IV.

Gambar 1. Biplot model AMMI 1 untuk bobot ubi per tanaman.

kuadran mewakili lingkungan dengan hasil yang rendah (*low yielding*), I dan IV, dan dua kuadran mewakili hasil tinggi (*high yielding*), II dan III. Selain itu, biplot memberikan informasi efek utama dan interaksi, baik dari lingkungan maupun genotipe (Gauch 1992). Genotipe dengan posisi yang menjauhi titik nol skor IPCA-1 seperti B-15/EC104 (14), B-58/EJ (10), B-19/EC557 (20), dan B-80/ENT (23) berkontribusi sangat besar terhadap munculnya fenomena interaksi. Begitu juga halnya lingkungan I dan II yang memperlihatkan skor mutlak IPCA-1 yang relatif jauh lebih tinggi.

Genotipe bengkuang dengan skor IPCA-1 > 0 memperlihatkan respon positif dengan lingkungan yang memiliki skor IPCA-1 < 0 dan menunjukkan respon negatif pada lingkungan dengan skor IPCA-1 > 0 (Samonte *et al.* 2005). Genotipe B-33/J (3), B-10/EC550 (16), B-137/AC (1), dan B-19/EC557 (20) pada kuadran III memperlihatkan kemampuan adaptasi yang lebih spesifik. Genotipe yang berada

dekat titik nol skor IPCA-1 kurang responsif dibandingkan dengan genotipe yang lebih jauh. Oleh karena itu B-94/ENT (27) merupakan genotipe yang paling stabil pada empat lingkungan percobaan (Tabel 3). Genotipe B-23/EC040 (15), B-26/NS (5), B-56/CJ (9), B-58/EJ (10) pada kuadran II memiliki adaptasi yang cukup baik pada kisaran lingkungan yang luas (I, III, IV). Dalam hal lokasi pengujian, lingkungan II dan I adalah lingkungan yang paling berkontribusi (*discriminating*) terhadap perbedaan bobot ubi karena memiliki jarak yang paling jauh dari titik nol (*origin*). Lingkungan IV merupakan lingkungan terbaik dan bukan lingkungan yang *discriminating* karena memiliki nilai lingkungan di atas rata-rata umum dan berada dekat dengan titik nol skor IPCA-1. Oleh karena itu, perbedaan-perbedaan genotipe pada lingkungan ini akan sangat konsisten dengan rata-rata lingkungan lainnya.

Lingkungan I dan II berbeda dilihat dari ketersediaan air bagi tanaman. Dalam percobaan ini,

Tabel 3. Nilai bobot ubi dan stabilitas beberapa genotipe bengkuang.

Genotipe	Bobot ubi (g)		Stabilitas	
	Rata-rata	Peringkat	Skor IPCA 1	Peringkat
B-23/EC040	710,75	1	0,03233	12
B-10/EC550	696	2	-0,01838	6
B-33/J	692,75	3	-0,01918	7
B-19/EC557	616,375	4	-0,17633	27
B-56/CJ	602	5	0,06393	18
B-58/EJ	591	6	0,13273	23
B-137/AC	588	7	-0,13796	25
B-26/NS	588	8	0,01571	4
B-94/ENT	560,75	9	-0,00514	1
B-138/AC	536,5	10	0,05542	17
B-1/EC033	526,625	11	0,05403	16
B-31/WS	513,875	12	-0,04629	14
B-42/WJ	510,625	13	-0,00764	2
B-39/WJ	499,375	14	-0,02712	11
B-77/ENT	498	15	-0,02135	8
B-15/EC104	481,625	16	0,13564	24
B-61/EJ	475,375	17	0,07618	20
B-29/WS	468	18	0,08161	21
B-80/ENT	456	19	-0,16396	26
B-12/EC Kew	447,5	20	-0,12181	22
B-86/ENT	433,5	21	-0,01773	5
B-55/CJ	415,125	22	0,06465	19
B-74/ENT	400	23	0,02441	10
B-89/ENT	392,25	24	-0,03275	13
B-7/EC041	377	25	0,04956	15
B-90/ENT	373,5	26	-0,0122	3
B-6/EC533	330,625	27	0,02147	9
Rata-rata	510,4722			

lingkungan I (musim kemarau, tanpa pemangkasan) didefinisikan sebagai lingkungan yang kurang baik (*poor*). Menurut Tarakanovas dan Ruzgas (2006), jarak genotipe dengan sumbu nol IPCA-1 merupakan cerminan besaran interaksi untuk genotipe tersebut. Sebagian besar interaksi genotipe x lingkungan pada bobot ubi bengkuang disebabkan oleh genotipe B-15/EC104 (14) yang memiliki hasil di bawah rata-rata dan nilai skor IPCA1 yang besar (kuadran I). Oleh karena itu, genotipe ini paling cocok untuk lingkungan yang kurang baik.

Petani umumnya lebih tertarik mengembangkan kultivar yang memperlihatkan konsistensi daya hasil (Tarakanovas dan Ruzgas 2006). Oleh karena itu, genotipe yang sebaiknya diseleksi oleh pemulia adalah yang berdaya hasil tinggi dan stabil pada kisaran lingkungan yang luas (Samonte *et al.* 2005). Genotipe B-23/EC040 berdaya hasil tertinggi, namun kurang stabil. Sebaliknya, genotipe B-33/J, B-26/NS, B-10/EC550, dan B-94/ENT berdaya hasil di atas rata-rata namun memiliki stabilitas yang lebih tinggi.

Fenomena interaksi genotipe x lingkungan sebenarnya memiliki implikasi yang baik dalam usaha meningkatkan produksi pertanian. Dengan diketahuinya potensi hasil suatu genotipe pada lingkungan tertentu, pengembangan kultivar dapat diarahkan untuk mendapatkan kultivar spesifik lingkungan. Pengembangan kultivar spesifik lingkungan memiliki peluang yang besar dalam meningkatkan produksi ubi bengkuang. Pada penelitian ini, genotipe terbaik pada lingkungan IV adalah B-23/EC040. Genotipe terbaik pada lingkungan I adalah B-55/CJ, pada lingkungan II B-80/ENT, dan pada lingkungan III B-15/EC104.

KESIMPULAN

Genotipe B-23/EC040 berdaya hasil tertinggi, namun kurang stabil. Genotipe-genotipe B-33/J, B-26/NS, B-10/EC550, dan B-94/ENT memberikan hasil di atas rata-rata namun memiliki stabilitas yang lebih tinggi. Lingkungan IV (musim hujan dengan pemangkasan) adalah lingkungan yang baik di mana variasi genotipe terlihat lebih konsisten. Pada lingkungan ini, B-23/EC040 merupakan genotipe terbaik. Genotipe terbaik pada lingkungan ekstrim I

adalah B-55/CJ, pada lingkungan II B-80/ENT, dan pada lingkungan III B-15/EC104.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian Unpad atas bantuan biaya percobaan pada musim kemarau dan kepada I-MHERE Unpad atas bantuan biaya penelitian pada musim hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adugna, W. and M.T. Labuschagne. 2002. Genotype-environment interactions and phenotypic stability analyses of linseed in Ethiopia. *Plant Breeding* 121:66-71.
- Baihaki, A. 2000. Teknik Analisis Rancangan Pemuliaan. Kumpulan Materi Latihan Teknik Pemuliaan dan Hibrida. Universitas Padjadjaran Bandung.
- Becker, H.C. and J. Leon. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101:1-23.
- Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multilocation trials. *Advances in Agronomy* 44:55-85.
- de Melo, E.P., N. Krieger, and T.L.M. Stamford. 1994. Physicochemical properties of Jacatupe (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) starch. *Starch* 46:245-247.
- Fehr, W.R. 1987. Principles of Cultivar Development, Vol 1, Theory and Technique. Macmillan Publishing Co. New York.
- Gauch, Jr., H.G. 1992. Statistical Analysis of Regional Trials: AMMI Analysis of Factorial Design. Elsevier Science Publisher. Amsterdam.
- Gauch Jr., H.G. and R.W. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials. In Kang, M.S. and H.G. Gauch, Jr. (Eds.). Genotype-by-Environment Interaction. CRC Press, Boca Raton. New York, United States of America.
- Karuniawan, A. 2004. Cultivation status and genetic diversity of yam bean (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) in Indonesia. Cuvillier Verlag Gottingen. Germany.
- 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.
- Kearsey, M.J. and H.S. Pooni. 1996. The Genetical Analysis of Quantitative Traits. Chapman & Hall. London.
- Piepho, H.P. 1996. Analysis of genotype-by-environment interaction and phenotypic stability. In Kang, M.S. and H.G. Gauch, Jr. (Eds.). Genotype-by-Environment Interaction. CRC Press, Boca Raton. New York, United States of America.

- Ratanadilok, N., K. Suriyawan, and S. Thanaisawanrayangkura. 1998. Yam bean (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) and its economic potential. In Sorensen, M., J.E. Estrella, O.J. Hamann, and S.A. Rios Ruiz (Eds.). Proceedings of the 2nd International Symposium on Tuberous Legumes, Celaya, Guanajuato, Mexico 5-8 August 1996. Copenhagen, Denmark.
- Samonte, S.O.P., L.T. Wilson, A.M. McClung, and J.C. Medley. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE Biplot analysis. *Crop Science* 45:2414-2424.
- Sorensen, M. 1996. Promoting The Conservation and Use of Neglected Crops 2: Yam Bean *Pachyrhizus* DC. International Plant Genetic Resources Institute. Italy.
- Sumertajaya, I.M. 1998. Perbandingan model AMMI dan regresi linier untuk menerangkan pengaruh interaksi percobaan lokasi ganda. Tesis Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor (*Tidak dipublikasi*).
- 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.