

**STABILITAS HASIL DAN ADAPTASI GALUR HARAPAN PADI BERAS
MERAH PADA TIGA LOKASI TANAM MENGGUNAKAN METODE
EBERHART DAN RUSSELL**

***YIELD STABILITY AND ADAPTATION OF PROMISING RED RICE (ORYZA
SATIVA L.) LINES ACROSS THREE GROWING ENVIRONMENTS USING THE
EBERHART AND RUSSELL STABILITY ANALYSIS***

Anak Agung Ketut Sudharmawan^{1*}

¹Program Studi Magister Pertanian Lahan kering, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

*Email penulis korespondensi: agungsudharmawan@gmail.com

Abstrak

Stabilitas hasil merupakan salah satu kriteria penting dalam seleksi galur harapan padi sebelum pelepasan varietas karena hasil gabah sangat dipengaruhi oleh interaksi antara genotipe dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi stabilitas hasil dan kemampuan adaptasi galur harapan padi beras merah pada tiga lingkungan pengujian menggunakan metode analisis stabilitas Eberhart dan Russell. Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang terdiri atas 20 galur harapan dan satu varietas pembanding, dengan tiga ulangan pada tiga lokasi pengujian. Analisis ragam gabungan dan analisis stabilitas menunjukkan bahwa faktor genotipe, lingkungan, serta interaksi genotipe $\times$ lingkungan berpengaruh nyata terhadap hasil gabah. Empat galur, yaitu G15 (4-20-13), G13 (11-16-11), G15 (2-15-11), dan G20 (8-3-5), menunjukkan produktivitas tinggi, adaptasi luas, dan stabilitas hasil yang baik, sedangkan beberapa galur lainnya memiliki adaptasi spesifik pada lingkungan yang kurang menguntungkan. Galur-galur tersebut berpotensi untuk dilanjutkan pada pengujian multilokasi yang lebih luas sebagai kandidat varietas unggul baru.

Kata kunci: padi beras merah; interaksi genotipe $\times$ lingkungan; stabilitas hasil; adaptasi luas; adaptasi spesifik

Abstract

Yield stability is an essential criterion in selecting promising rice lines prior to varietal release because grain yield is strongly influenced by genotype $\times$ environment interaction. This study evaluated the yield stability and adaptability of promising red rice lines across three environments using the Eberhart and Russell stability model. A randomized complete block design with 20 promising lines and one control was evaluated in three locations with three replications. Combined ANOVA and stability analyses revealed significant effects of genotype, environment, and genotype $\times$ environment interaction. Four lines (G15 (4-20-13), G13 (11-16-11), G15 (2-15-11), and G20 (8-3-5)) exhibited high yield, broad adaptation, and high stability, whereas several other lines showed specific adaptation to less favorable environments. These lines are suitable candidates for advanced multilocation testing and varietal release.

Keywords: red rice; genotype $\times$ environment interaction; yield stability; broad adaptation; specific adaptation

PENDAHULUAN

Padi beras merah (*Oryza sativa* L.) merupakan salah satu sumber pangan yang potensial dikembangkan melalui program pemuliaan tanaman karena memiliki nilai fungsional dan karakter agronomis yang beragam. Pengembangan galur unggul memerlukan keragaman genetik yang memadai sebagai dasar seleksi. Sudharmawan et al. (2022) menunjukkan adanya keragaman genetik pada populasi padi beras merah hasil mutasi, sedangkan Suliartini et al. (2021) melaporkan bahwa seleksi pedigree mampu menghasilkan beberapa galur padi beras merah dengan peningkatan potensi hasil dibandingkan tetuanya.

Keunggulan suatu galur tidak hanya ditentukan oleh potensi hasil, tetapi juga oleh kemampuan mempertahankan hasil pada lingkungan yang berbeda. Perbedaan kondisi agroekologi dapat menyebabkan terjadinya interaksi genotipe $\times$ lingkungan ($G \times E$), sehingga genotipe dengan hasil tinggi pada suatu lingkungan belum tentu menunjukkan performa yang sama pada lingkungan lainnya. Oleh karena itu, pengujian multilokasi diperlukan untuk mengidentifikasi galur yang memiliki hasil tinggi sekaligus stabil dan adaptif pada lingkungan target. Dalam penelitian ini, galur diuji pada tiga lingkungan dengan karakteristik produktivitas yang berbeda, yaitu Sumbawa, Lombok Timur, dan Lombok Barat.

Analisis stabilitas merupakan pendekatan penting dalam menentukan konsistensi hasil dan pola adaptasi genotipe. Metode Eberhart dan Russell menggunakan koefisien regresi (β_i) dan simpangan regresi (Sd_i^2) untuk mengidentifikasi genotipe yang beradaptasi luas maupun spesifik terhadap lingkungan tertentu. Genotipe dengan β_i mendekati satu dan Sd_i^2 rendah menunjukkan stabilitas dan kemampuan adaptasi yang lebih luas (Eberhart & Russell, 1966; Becker & Léon, 1988). Pendekatan ini relevan untuk mendukung seleksi galur padi karena produktivitas dan stabilitas merupakan dua karakter yang perlu dipertimbangkan secara bersamaan sebelum galur dilanjutkan ke tahap pengujian berikutnya.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi produktivitas, stabilitas hasil, dan kemampuan adaptasi 20 galur harapan padi beras merah pada tiga lingkungan pengujian menggunakan metode Eberhart dan Russell. Hasil penelitian diharapkan dapat mengidentifikasi galur yang berdaya hasil tinggi, stabil, dan beradaptasi luas maupun galur yang memiliki adaptasi spesifik, sehingga dapat digunakan sebagai dasar pemilihan galur untuk pengujian multilokasi lanjutan dan pengembangan calon varietas unggul baru.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2024 sampai September 2024 di Desa Nyurlembang Kabupaten Lombok Barat, Desa Bagik Payung Kabupaten Lombok Timur dan Desa Pernek Kabupaten Sumbawa menggunakan metode eksperimen lapangan. Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 21 perlakuan yang terdiri atas 20 genotipe hasil persilangan ganda dan satu varietas kontrol, masing-masing diulang sebanyak tiga kali. Dengan demikian, pada setiap lokasi diperoleh 63 unit percobaan. Data yang diamati meliputi jumlah anakan, jumlah gabah berisi per malai, bobot 1.000 butir, dan hasil gabah. Hasil gabah dikonversi ke satuan ton ha^{-1} untuk selanjutnya dianalisis secara statistik. Analisis data meliputi analisis ragam gabungan (*combined analysis of variance*), analisis indeks lingkungan, analisis stabilitas hasil, serta uji koefisien regresi terhadap nilai harapan. Seluruh analisis dilakukan menggunakan program QBasic dan Microsoft Excel. Stabilitas hasil dianalisis berdasarkan metode Eberhart dan Russell (1966) dengan menggunakan parameter koefisien regresi (β_i) dan simpangan regresi (Sd_i^2). Rumus-rumus yang digunakan dalam analisis disajikan sebagai berikut.

- a. Analisis konversi hasil gabah (ton/ha), sebagai berikut (Masparry, 2015):

$$\left(\left(\frac{10.000}{J_t} \right) \times J_a \times J_{gb} \times B_{sb} \right) : 10^9$$

- b. Analisis ragam gabungan hasil gabah

Tabel 1. Model Tabel Analisis Ragam Gabungan

Sumber keragaman	db	Jumlah kuadrat	Kuadrat tengah	Nilai F
Lokasi (lingkungan)	j - 1	JKj	JKj / dbj	(JKj/dbj) / (JKg/dbg)
Galur (genotipe)	i - 1	JKi	JKi / dbi	(JKi/dbi) / (JKg/dbg)
Ulangan lokasi	j(r - 1)	JKb	JKb / dbb	(JKb/dbb) / (JKg/dbg)
Genotipe x Lingkungan	(j - 1)(i - 1)	JKij	JKij / dbij	(JKij/dbij) / (JKg/dbg)
Galat	j(r - 1)(i - 1)	JKg	JKg / dbg	
Total	(r x j x i) - 1	ΣJK		

Keterangan: j=lokasi; i=galur; r=ulangan; dan g=galat.

c. Analisis indeks lokasi

$$I_j = (\sum Y_{ij} / i) - ((\sum (\sum Y_{ij})) / (i \times j))$$

d. Analisis stabilitas hasil Eberhart & Russel (1966) (Purbokurniawan *et al.*, 2014), sebagai berikut:

$$R_i = \frac{\sum Y_{ij} I_j}{\sum I_j^2} \quad , \quad S_{di}^2 = \left(\frac{\sum Y_{ij}^2}{j^2} - \frac{S_i^2}{r} \right)$$

e. Analisis pendugaan satu rerata terhadap nilai koefisien regresi

$$\bar{y} - t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{y} + t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Keterangan simbol:

10.000 = konstanta konversi 1 ha ke m²

Jt = jarak tanam (m²)

Ja = jumlah anakan (batang)

Jgb = jumlah gabah berisi (butir)

Bsb = berat seribu butir (gram)

Ij = indeks lokasi (lingkungan)

Yij = rata-rata hasil dari genotipe ke-i di lingkungan ke-j

Si² = ragam lingkungan

Ȳij = rata-rata pada genotipe ke-i dan lingkungan ke-j

Ȳ.j = rata-rata lingkungan ke-j untuk seluruh genotipe

Ȳi. = rata-rata genotipe ke-i pada seluruh lingkungan ke-j

q = banyaknya lingkungan ke-i

βi = koefisien regresi

Ȳ = rata-rata seluruh indeks lingkungan

Sdi² = simpangan regresi

δ²ij = simpangan gabungan

se² = galat pada anova gabungan

ȳ = rata-rata nilai koefisien regresi = 1

ta = nilai t tabel

s = standar deviasi dari nilai koefisien regresi

n = jumlah perlakuan

μ = rata-rata nilai koefisien regresi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil analisis, secara garis besar terdiri dari analisis gabungan hasil dan analisis stabilitas hasil genotipe-genotipe padi beras merah pada tiga ketinggian lokasi tanam.

Analisis Ragam Gabungan

Tabel 2 menunjukkan bahwa faktor genotipe, lingkungan, ulangan dalam lokasi, dan interaksi genotipe $\times$ lingkungan ($G \times L$) berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap hasil gabah. Faktor lingkungan memberikan pengaruh terbesar terhadap keragaman hasil, diikuti oleh faktor genotipe dan interaksi $G \times L$. Hasil ini menunjukkan bahwa produktivitas galur dipengaruhi oleh perbedaan kondisi lingkungan maupun respons masing-masing genotipe terhadap lingkungan pengujian

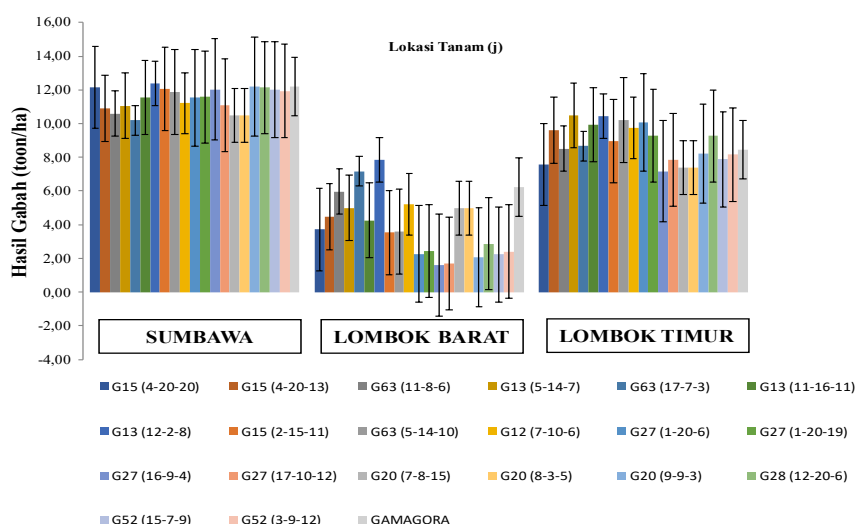
Tabel 2. Analisis Ragam Gabungan Hasil Gabah pada Tiga Lokasi Tanam

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Nilai F
Lokasi (lingkungan)	2	1888,67	944,34	315,94*
Genotipe	20	104,03	5,2	1,74*
Ulangan Lokasi	6	49,64	8,27	2,77*
Genotipe x Lingkungan ($G \times L$)	40	180,95	4,52	1,51*
Galat	120	358,77	2,99	
Total	188	2582,00		

Keterangan: * Berpengaruh nyata berdasarkan uji F pada taraf nyata 5 %.

Produktivitas Galur pada Tiga Lokasi Pengujian

Gambar 1 menunjukkan adanya variasi produktivitas galur pada tiga lokasi pengujian. Secara umum, produktivitas tertinggi diperoleh di Sumbawa, diikuti Lombok Timur, sedangkan Lombok Barat menghasilkan produktivitas terendah. Perubahan peringkat hasil beberapa galur antar lokasi menunjukkan adanya variasi respons genotipe terhadap lingkungan.

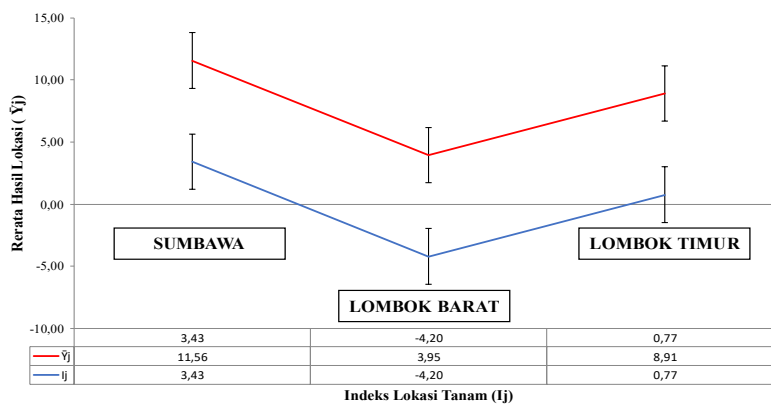


Gambar 1. Fluktuasi Hasil Gabah (ton/ha) Genotipe pada Tiga Lokasi Tanam

Indeks Lingkungan

Berdasarkan Gambar 2, nilai indeks lingkungan berbeda pada setiap lokasi pengujian. Sumbawa memiliki nilai indeks lingkungan positif tertinggi ($I_j = 3,43$) dengan

rerata hasil 11,56 ton ha⁻¹, Lombok Timur memiliki indeks lingkungan sebesar 0,77 dengan rerata hasil 8,91 ton ha⁻¹, sedangkan Lombok Barat memiliki indeks lingkungan negatif (-4,20) dengan rerata hasil 3,95 ton ha⁻¹. Nilai tersebut menunjukkan adanya perbedaan tingkat produktivitas antar lokasi pengujian



Gambar 2. Hubungan antara Nilai Rerata Hasil ($\bar{Y}_j$) dengan Nilai Indeks Lokasi (I_j)

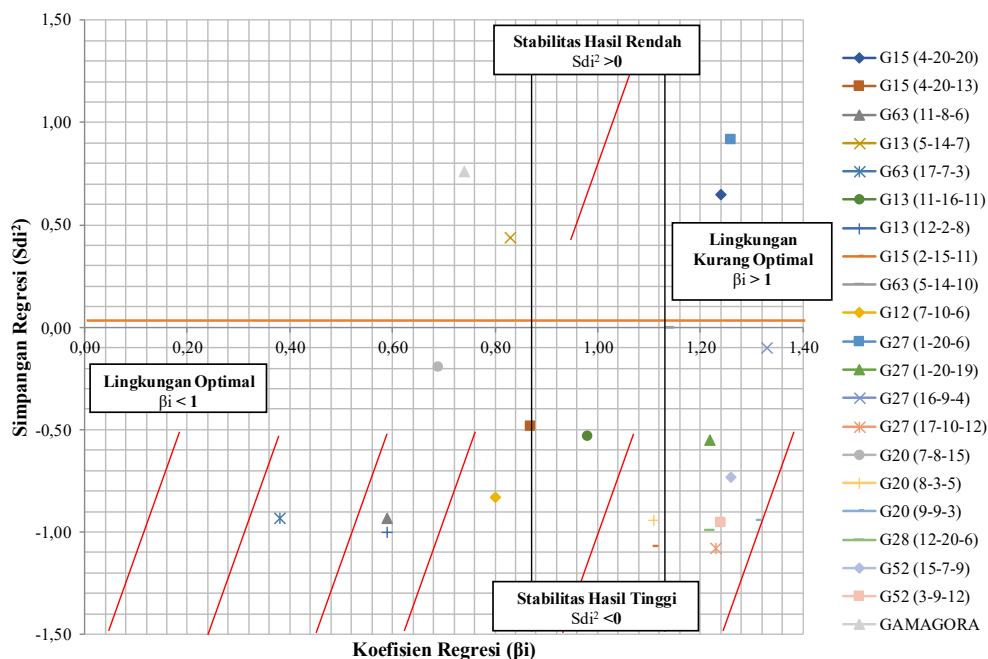
Analisis Stabilitas Hasil dan Pengelompokan Adaptasi Genotipe

Hasil analisis stabilitas berdasarkan metode Eberhart dan Russell disajikan pada Tabel 3. Nilai koefisien regresi (β_i) dan simpangan regresi (Sd_i^2) menunjukkan adanya variasi kemampuan adaptasi antar genotipe. Empat genotipe, yaitu G15 (4-20-13), G13 (11-16-11), G15 (2-15-11), dan G20 (8-3-5), memiliki produktivitas di atas rerata umum dengan nilai β_i mendekati satu dan simpangan regresi rendah sehingga tergolong stabil dan beradaptasi luas. Sebaliknya, beberapa genotipe menunjukkan adaptasi spesifik pada lingkungan optimum maupun kurang optimum

Tabel 3. Parameter Stabilitas Hasil Gabah pada Tiga Lokasi Tanam

Genotipe	$\bar{Y}_i$	B_i	Sd_i^2
G15 (4-20-20)	7,81 ^{lk}	1,24 ^{ao}	0,65 st
G15 (4-20-13)	8,32 ^{lb}	0,87 ^s	-0,48 ^{sr}
G63 (11-8-6)	8,36 ^{lb}	0,59 ^{ako}	-0,93 ^{sr}
G13 (5-14-7)	8,84 ^{lb}	0,83 ^{ako}	0,44 st
G63 (17-7-3)	8,68 ^{lb}	0,38 ^{ako}	-0,93 ^{sr}
G13 (11-16-11)	8,57 ^{lb}	0,98 ^s	-0,53 ^{sr}
G13 (12-2-8)	10,22 ^{lb}	0,59 ^{ako}	-1,00 ^{sr}
G15 (2-15-11)	8,18 ^{lb}	1,11 ^s	-1,07 ^{sr}
G63 (5-14-10)	8,55 ^{lb}	1,14 ^{ao}	0,00 ^{sr}
G12 (7-10-6)	8,72 ^{lb}	0,80 ^{ako}	-0,83 ^{sr}
G27 (1-20-6)	7,95 ^{lk}	1,26 ^{ao}	0,92 st
G27 (1-20-19)	7,76 ^{lk}	1,22 ^{ao}	-0,55 ^{sr}
G27 (16-9-4)	6,93 ^{lk}	1,33 ^{ao}	-0,10 ^{sr}
G27 (17-10-12)	6,87 ^{lk}	1,23 ^{ao}	-1,08 ^{sr}
G20 (7-8-15)	7,61 ^{lk}	0,69 ^{ako}	-0,19 ^{sr}
G20 (8-3-5)	8,14 ^{lb}	1,11 ^s	-0,94 ^{sr}
G20 (9-9-3)	7,50 ^{lk}	1,31 ^{ao}	-0,94 ^{sr}
G28 (12-20-6)	8,09 ^{lk}	1,22 ^{ao}	-0,99 ^{sr}
G52 (15-7-9)	7,37 ^{lk}	1,26 ^{ao}	-0,73 ^{sr}
G52 (3-9-12)	7,50 ^{lk}	1,24 ^{ao}	-0,95 ^{sr}
GAMAGORA	8,95 ^{lb}	0,74 ^{ako}	0,76 st
μ	8,14	1,00	

Keterangan: $\bar{Y}_i$ =rerata hasil; β_i =koefisien regresi; Sd_i^2 =simpangan regresi; μ =rerata umum; ^{lb}= $\bar{Y}_i > \mu$; ^{lk}= $\bar{Y}_i < \mu$; ^{ako}= $\beta_i < 1$; ^{ao}= $\beta_i > 1$; ^s= nilai rata-rata β_i (1); st= Sd_i^2 tinggi; ^{sr}= Sd_i^2 rendah.



Gambar 3. Interpretasi Analisis Stabilitas Nilai β_i dan S_{di}^2 menurut Eberhart & Russel (1966)

Gambar 3 memperlihatkan pengelompokan genotipe berdasarkan hubungan antara koefisien regresi (β_i) dan simpangan regresi (S_{di}^2). Genotipe yang berada di sekitar nilai $\beta_i = 1$ dengan simpangan regresi rendah dikategorikan sebagai genotipe beradaptasi luas, sedangkan genotipe dengan $\beta_i < 1$ atau $\beta_i > 1$ menunjukkan kecenderungan adaptasi spesifik terhadap lingkungan kurang optimal maupun lingkungan optimum.

Pembahasan

Analisis Ragam Gabungan dan Interaksi Genotipe $\times$ Lingkungan

Analisis ragam gabungan menunjukkan bahwa genotipe, lingkungan, dan interaksi genotipe $\times$ lingkungan ($G \times L$) berpengaruh nyata terhadap hasil gabah, sehingga produktivitas galur dipengaruhi oleh kombinasi faktor genetik dan kondisi lingkungan. Nilai F lingkungan yang lebih tinggi dibandingkan faktor lainnya mengindikasikan bahwa perbedaan agroekologi antar lokasi memberikan kontribusi terbesar terhadap variasi hasil gabah.

Interaksi $G \times L$ yang nyata menunjukkan bahwa setiap genotipe memberikan respons yang berbeda pada masing-masing lokasi tanam. Hal ini terlihat dari perubahan produktivitas beberapa galur antar lokasi, sehingga genotipe yang berdaya hasil tinggi pada satu lokasi belum tentu mempertahankan performa yang sama pada lokasi lainnya. Hasil ini sejalan dengan Rahim et al. (2023) yang melaporkan bahwa interaksi genotipe $\times$ lingkungan merupakan faktor utama yang menentukan kestabilan hasil galur padi pada pengujian multilokasi.

Temuan tersebut menunjukkan bahwa pengujian multilokasi diperlukan untuk memperoleh galur yang tidak hanya berdaya hasil tinggi, tetapi juga mampu mempertahankan produktivitasnya pada lingkungan yang berbeda. Dengan demikian, analisis ragam gabungan menjadi dasar dalam menentukan perlunya evaluasi stabilitas hasil sebelum suatu galur direkomendasikan sebagai calon varietas unggul.

Indeks Lingkungan dan Produktivitas Lokasi

Nilai indeks lingkungan menunjukkan bahwa ketiga lokasi pengujian memiliki tingkat produktivitas yang berbeda. Lokasi Sumbawa memiliki nilai indeks lingkungan tertinggi dengan rerata hasil 11,56 ton ha⁻¹, sedangkan Lombok Barat menunjukkan indeks lingkungan terendah dengan rerata hasil 3,95 ton ha⁻¹. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa Sumbawa merupakan lingkungan yang paling mendukung ekspresi potensi hasil galur padi beras merah.

Perbedaan produktivitas antar lokasi mengindikasikan bahwa kondisi agroekologi berpengaruh terhadap ekspresi fenotipe setiap genotipe. Lingkungan yang lebih produktif memungkinkan galur menampilkan potensi hasil secara maksimal, sedangkan lingkungan kurang optimal menjadi media seleksi untuk mengidentifikasi galur yang memiliki kemampuan beradaptasi terhadap cekaman. Hasil ini konsisten dengan Adie et al. (2013) yang menyatakan bahwa indeks lingkungan dapat digunakan sebagai indikator produktivitas lokasi sekaligus sebagai dasar dalam mengevaluasi kemampuan adaptasi genotipe.

Dengan adanya variasi indeks lingkungan, pengujian pada tiga lokasi mampu memberikan informasi yang lebih komprehensif mengenai respons masing-masing galur sehingga analisis stabilitas hasil dapat dilakukan secara lebih objektif.

Stabilitas Hasil Berdasarkan Metode Eberhart dan Russell

Analisis stabilitas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kemampuan adaptasi di antara galur yang diuji. Berdasarkan parameter koefisien regresi (β_i) dan simpangan regresi (Sd_i^2), empat genotipe, yaitu G15 (4-20-13), G13 (11-16-11), G15 (2-15-11), dan G20 (8-3-5), memiliki produktivitas di atas rerata umum, nilai β_i mendekati satu, serta simpangan regresi rendah sehingga tergolong stabil dan beradaptasi luas.

Sebaliknya, G63 (11-8-6), G63 (17-7-3), G13 (12-2-8), dan G12 (7-10-6) menunjukkan nilai β_i kurang dari satu dengan simpangan regresi rendah, sehingga lebih sesuai pada lingkungan kurang optimal. Sementara itu, G63 (5-14-10) memiliki β_i lebih dari satu yang menunjukkan respons lebih baik pada lingkungan optimum. Perbedaan karakter adaptasi tersebut menunjukkan bahwa masing-masing galur memiliki tingkat sensitivitas yang berbeda terhadap perubahan lingkungan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Becker dan Léon (1988) serta Yan dan Kang (2003) yang menyatakan bahwa genotipe dengan nilai β_i mendekati satu dan simpangan regresi rendah memiliki kemampuan adaptasi yang lebih luas karena mampu mempertahankan produktivitas pada berbagai kondisi lingkungan. Oleh karena itu, stabilitas hasil perlu dipertimbangkan bersama potensi hasil dalam proses seleksi galur harapan.

Implikasi terhadap Program Pemuliaan Tanaman

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian multilokasi yang dipadukan dengan analisis stabilitas mampu mengidentifikasi galur-galur yang berpotensi dikembangkan sebagai varietas unggul baru. Empat galur yang memiliki produktivitas tinggi dan stabil berpeluang untuk dilanjutkan pada tahap pengujian berikutnya, sedangkan galur yang beradaptasi spesifik dapat dimanfaatkan untuk pengembangan pada agroekosistem tertentu.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menegaskan bahwa keberhasilan seleksi galur tidak hanya ditentukan oleh produktivitas yang tinggi, tetapi juga oleh kemampuan mempertahankan hasil pada lingkungan yang berbeda. Oleh karena itu, analisis stabilitas hasil menjadi bagian penting dalam proses seleksi untuk memperoleh galur padi beras merah yang produktif, stabil, dan adaptif terhadap keragaman lingkungan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan yaitu sebagai berikut.

1. Analisis ragam gabungan menunjukkan bahwa genotipe, lingkungan, dan interaksi genotipe $\times$ lingkungan berpengaruh nyata terhadap hasil gabah.
2. Indeks lingkungan menunjukkan Sumbawa sebagai lokasi paling produktif, Lombok Timur sedang, dan Lombok Barat kurang optimal.
3. Empat galur (G15 (4-20-13), G13 (11-16-11), G15 (2-15-11), dan G20 (8-3-5)) memiliki hasil tinggi, stabil, dan beradaptasi luas.
4. Galur stabil layak diuji lebih lanjut sebagai calon varietas unggul, sedangkan galur adaptasi spesifik dapat dimanfaatkan untuk agroekosistem tertentu.

Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian maka saran yang dapat diberikan pada yaitu:

1. Melakukan uji multilokasi tambahan pada musim tanam berbeda.
2. Mengombinasikan metode Eberhart–Russell dengan AMMI dan GGE Biplot.
3. Melengkapi evaluasi mutu beras, toleransi cekaman, dan preferensi konsumen sebelum pelepasan varietas.

DAFTAR PUSTAKA

- Acquaah, G. (2012). *Principles of plant genetics and breeding* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Adie, M. M., Krisnawati, A., & Harnowo, D. (2013). Stabilitas hasil genotipe kedelai berdasarkan indeks lingkungan pada beberapa lokasi pengujian. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 32(2), 95–103.
- Becker, H. C., & Léon, J. (1988). Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, 101(1), 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1988.tb00261.x> (Wiley Online Library)
- Ceccarelli, S. (2015). Efficiency of plant breeding. *Crop Science*, 55(1), 87–97.
- Eberhart, S. A., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36–40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x> (Access)
- Fageria, N. K. (2014). *Nitrogen management in crop production*. CRC Press.
- Finlay, K. W., & Wilkinson, G. N. (1963). The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14, 742–754.
- Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). *Statistical procedures for agricultural research* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Kang, M. S. (1993). Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials. *Agronomy Journal*, 85(3), 754–757.
- Kang, M. S., & Priyadarshan, P. M. (2007). *Breeding major food staples*. Blackwell Publishing.
- Krismawati, A., & Arifin, Z. (2011). Stabilitas hasil beberapa varietas padi di lahan sawah. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 14(2), 84–92. (Garuda)
- Piepho, H. P. (1998). Methods for comparing the yield stability of cropping systems—A review. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 180(4), 193–213.
- Purbokurniawan, Sudarsono, S., Aswidinnoor, H., & Suwarno, W. B. (2014). Analisis stabilitas hasil beberapa galur padi pada berbagai lingkungan pengujian. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 42(2), 97–105.

- Rahim, S. S., Aswidinnoor, H., Holidin, H., Setiyowati, H., Ritonga, A. W., Marwiyah, S., & Suwarno, W. B. (2023). Stability analysis, agronomic performance, and grain quality of elite new plant type rice lines (*Oryza sativa* L.) developed for tropical lowland ecosystem. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, Article 1147611. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1147611> (Frontiers)
- Shukla, G. K. (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype–environmental components of variability. *Heredity*, 29, 237–245.
- Sudharmawan, A. A. K., Aryana, I. G. P. M., Suliartini, N. W. S., & Purnama, S. A. (2022). Genetic diversity of red rice (*Oryza sativa* L.) population M2 results of G16 rice genotype mutations with 200 Gy and 300 Gy gamma ray irradiation. *Jurnal Biologi Tropis*, 22(4), 1340–1346.
- Suliartini, N. W. S., Aryana, I. G. P. M., Sudharmawan, A. A. K., & Wangiyana, W. (2021). Yield potential improvement of some lowland red rice lines in F4 pedigree selection. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 120(12), 179–184.
- Torres, R. O., & Henry, A. (2018). Yield stability of selected rice breeding lines and donors across conditions of mild to moderately severe drought stress. *Field Crops Research*, 220, 37–45.
- Yan, W. (2016). *Analysis and handling of $G \times E$ in a practical breeding program*. Crop Science Society of America.
- Yan, W., & Kang, M. S. (2003). *GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC Press.
- Yan, W., & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), 623–645.
- Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of rice crop science*. International Rice Research Institute (IRRI).
- Zobel, R. W., Wright, M. J., & Gauch, H. G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80(3), 388–393.