

Pendugaan Parameter Genetika Karakter Agronomik Padi Gogo pada Tanah Ultisol melalui Analisis Dialel

Genetic Parameter Estimation on Upland Rice Agronomic Characters in Ultisols through Diallel Analysis

MARIA AGUSTINA^{1*}, SURJONO HADI SUTJAHJO², TRIKOESOEMANINGTYAS², YUSURUM JAGAU¹

¹Jurusan Budi Daya Pertanian, Faperta, Universitas Palangka Raya,
Kampus Unpar Tanjung Nyaho, Jalan Yos Sudarso, Palangka Raya 73112

²Departemen Budi Daya Pertanian, Faperta, Institut Pertanian, Bogor, Kampus Darmaga, Bogor 16680

Diterima 9 Januari 2004/Disetujui 15 Juli 2005

An estimate of genetic parameters was made to study the types of gene action in rice. A half diallel analysis was performed among seven rice genotypes with different genetical backgrounds, i.e. Situgitung, Jatiluhur, Gajah Mungkur, B8503E-TB-9-0-3, Krowal, CT6510-24-1-3, IR 64, and its 21 progenies. This experimental material was arranged in a complete block design with four replications. All observed characters had highly significant genotypic differences. The genetic parameters were estimated following Hayman method. The simple model of additive-dominance was sufficiently detected through the absence of nonallelic interaction. Productive tillers exhibited partial dominance. Heritability in a narrow sense was high. There was a positive correlation between grain yield and the number of productive tillers.

PENDAHULUAN

Sampai saat ini upaya mengatasi kendala kimiawi tanah masam podsolik merah kuning (PMK) lebih banyak dilakukan dengan pengapuran dan pemupukan. Pendekatan ini dikenal dengan nama pendekatan masukan tinggi (*high input approach*) dan telah terbukti menunjukkan hasil yang nyata, namun pada umumnya tidak mampu dipenuhi oleh petani.

Pilihan lain adalah dengan menggunakan pendekatan masukan rendah (*low input approach*), yang mengutamakan adaptasi tanaman terhadap kendala lingkungan yang ada yang berarti terdapat peningkatan efisiensi dalam menggunakan unsur hara mineral dan peningkatan persatuan masukan teknologi (Blum 1988; Tigerstedt 1994; Ceccarelli 1994, 1996; Marschner 1995).

Penggunaan pendekatan masukan rendah tidak hanya ditujukan kepada masalah kemasaman tanah, tetapi juga kepada efisiensi dalam penggunaan nutrisi tanah dan pemupukan, karena kemajuan seleksi dan pemuliaan untuk tujuan hasil tinggi merupakan gabungan antara hasil tinggi dengan efisiensi dalam penerimaan dan penggunaan nutrisi mineral (Sanches & Salinas 1981; Tigerstedt 1994; Ceccarelli 1994, 1996; Marschner 1995; Khatiwada *et al.* 1996).

Pembentukan dan perbaikan varietas padi bagi adaptasi terhadap tanah masam dapat dilakukan dengan merakit keragaman genetika karakter toleran terhadap tanah masam dan efisiensi hara, baik secara konvensional maupun secara molekuler ke dalam varietas yang akan dibentuk dan diperbaiki,

sehingga dapat diperoleh satu individu tanaman yang selain dapat beradaptasi dengan tanah masam, juga mempunyai potensi hasil yang tinggi (Ma *et al.* 2002; Sasaki 2002; Trikoesoemaningtyas 2002; Antonio *et al.* 2003; Sasaki 2003; Prasetyono 2003; Obara *et al.* 2004). Upaya merakit keragaman genetika karakter-karakter yang ditujukan untuk adaptasi terhadap kendala lingkungan tertentu harus diperkenalkan dan dilakukan sejak awal pembentukannya (Falconer 1960).

Untuk mengetahui genetika dari gen-gen yang mengendalikan karakter agronomik pada tanah masam tersebut dapat dilakukan melalui pendugaan parameter genetika. Salah satu metode pendugaan parameter genetika yang digunakan adalah metode analisis dialel. Menurut Johnson (1963) metode ini secara eksperimental merupakan pendekatan yang sistematis; dan secara analitis merupakan pendekatan evaluasi genetika menyeluruh yang berguna dalam mengidentifikasi persilangan bagi potensi seleksi yang terbaik pada awal generasi.

Penelitian ini bertujuan untuk (i) menduga parameter genetika beberapa karakter agronomik padi gogo pada tanah masam PMK melalui analisis dialel dan (ii) mempelajari aksi dan tipe gen yang mengendalikan karakter agronomik (jumlah anakan produktif).

BAHAN DAN METODE

Bahan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 28 genotipe yang terdiri atas tujuh tetua dengan latar belakang genetika beragam yaitu: Situgitung, Jatiluhur, Gajah Mungkur, B8503E-TB-9-0-3, Krowal, CT6510-24-1-3, dan IR 64 dan 21 hasil silangan separuh dialel, yang dilakukan dalam

*Penulis untuk korespondensi, Tel./Fax. +62-536-21623,
E-mail: inatuwan@yahoo.com

seluruh kombinasi yang mungkin antara ketujuh tetua. Ketujuh tetua terpilih berasal dari hasil uji penyaringan, seleksi, identifikasi dan deskripsi pada penelitian-penelitian terdahulu. Bahan tanaman berasal dari koleksi benih untuk plasma nutfah padi pada Kebun Percobaan Muara Bogor.

Media tanam yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah ultisol (podsolik merah kuning) diambil dari Desa Pundu, Kecamatan Cempaga, Kabupaten Kotawaringin Timur, Kalimantan Tengah. Media tanam dikeringanginkan selama dua minggu, dibersihkan dan dimasukkan masing-masing sebanyak 10 kg ke dalam polibag, selanjutnya disusun di dalam rumah plastik berukuran 4 x 14 m², ke dalam bentuk Rancangan Acak Lengkap dengan empat ulangan, sehingga seluruhnya terdapat 112 satuan pengamatan dalam bentuk polibag percobaan.

Pemupukan minimum dilakukan secara seragam menggunakan dosis 60 kg urea/ha atau 0.3 g/polibag, 30 kg TSP/ha atau 0.15 g/polibag dan 30 kg KCl/ha atau 0.15 g/polibag, dan dibagi ke dalam dua kali pemberian pupuk, yaitu separuh dosis bersamaan pada waktu tanam dan separuh lainnya pada saat memasuki usia produktif (35 hari setelah tanam). Pengamatan dilakukan terhadap dua karakter (IRRI 1996), yaitu jumlah anakan produktif dan hasil gabah (gram per rumpun).

Metode analisis silang dialel dilakukan menggunakan pendekatan Hayman (Hayman 1954b). Analisis ragam dilakukan untuk menguji perbedaan di antara genotipe, yaitu analisis yang dilakukan sebelum metode analisis silang dialel menggunakan pendekatan Hayman. Jika terdapat perbedaan nyata di antara genotipe, maka mengindikasikan bahwa analisis dialel dapat dilanjutkan. Komponen ragam genetika yaitu aditif dan dominan diduga dengan pendekatan Hayman (1954a). Hipotesis tentang ketidakhadiran epistasis diuji dengan menggunakan analisis koefisien regresi sebagaimana digambarkan oleh metode Hayman (1954b), Jinks (1954), serta Mather dan Jinks (1982) sebagaimana disajikan dalam Singh dan Chaudhary (1979), sebagai berikut:

$$b = \frac{\text{Cov}(W_r, V_r)}{\text{Var } V_r}$$

$$SE(b) = \sqrt{\frac{\text{Var } V_r - b \text{ cov}(W_r, V_r)}{\text{Var } V_r (n-2)}}$$

Tabel 2. Hasil pendugaan parameter genetika melalui analisis silang dialel 7 x 7

Karakter	b(W _r , V _r)	D	H ₁	H ₂	F	h ²	E	(H ₁ /D) ^{1/2}	H ₂ /4H ₁	Kd/Kr	h ² /H ₂	r(W _r +V _r , Y _r)	h(l)	h(s)
Jumlah anakan produktif	0.929	5.785**	3.167*	2.932	1.428	0.193	0.391	0.740	0.231	1.400	0.066	0.243	88.6	67.1
Hasil gabah/Rpn	0.232**	5.928	73.864**	63.593**	-14.019	12.755	2.973	3.530	0.215	0.498	0.201	0.551	91.2	44.5

*Nyata pada p ≤ 0.05; **Nyata pada p ≤ 0.01; D = komponen ragam karena pengaruh aditif, H₁ = komponen ragam karena pengaruh dominansi; H₂ = H₁(1-(u-v)²); u = proporsi gen-gen positif di dalam tetua; v = proporsi gen-gen negatif di dalam tetua; F = rata-rata nilai Fr; Fr = peragam aditif dan nonaditif pada array ke-r; h² = pengaruh dominansi (sebagai jumlah aljabar semua lokus pada fase heterozigot pada semua persilangan); E = komponen ragam pengaruh lingkungan harapan; (H₁/D)^{1/2} = rata-rata tingkat dominansi di dalam F₁; H₂/4H₁ = proporsi gen-gen dengan pengaruh positif dan negatif di dalam tetua; h²/H₂ = jumlah kelompok gen yang mengendalikan karakter dan menyebabkan dominansi; Kd/Kr = (√(4DH₁+F))/(√(4DH₁-F)) = proporsi gen dominan terhadap resesif; r (W_r+V_r, Y_r) = koefisien korelasi antara jumlah peragam dan ragam array terhadap rata-rata tetua; h(l) = heritabilitas dalam arti luas; h(s) = heritabilitas dalam arti sempit

Uji hipotesis:

$$H_0 : b = 1$$

$$H_1 : b \neq 1$$

Jika b = 1, maka tidak terdapat interaksi gen nonalelik.

b = standar error; H₀ = hipotesis null; H₁ = hipotesis alternatif; Var (V_r, W_r) = ragam (V_r, W_r), W_r (peragam tetua keturunan) dan V_r (ragam keturunan); n = jumlah tetua.

Heritabilitas (dalam arti luas dan dalam arti sempit) diduga dengan menggunakan formula sebagaimana digambarkan oleh Mather dan Jinks (1982).

HASIL

Analisis Ragam untuk Uji Beda Nyata di Antara Genotipe.

Kuadrat tengah analisis ragam untuk uji beda nyata di antara genotipe menunjukkan hasil dengan perbedaan sangat nyata untuk kedua karakter yang diamati (Tabel 1).

Hasil pendugaan parameter genetika melalui analisis dialel disajikan pada Tabel 2. Selanjutnya karakter jumlah anakan produktif akan digunakan sebagai contoh untuk menggambarkan peranan komponen ragam genetika dan aksi-aksi gen secara terperinci dalam mengontrol pola pewarisan seluruh karakter yang diamati.

Uji Hipotesis untuk Model Sederhana Aditif-Dominan.

Kesahihan hipotesis model sederhana aditif dominan diperkuat/ditegaskan dengan koefisien regresi (Hayman 1954b; Jinks 1954). Dengan kata lain, adanya interaksi antara gen-gen tidak satu alel diuji dengan nilai koefisien regresi b dari garis regresi antara W_r (peragam tetua keturunan) dan V_r (ragam keturunan). Jika nilai b = 1, maka tidak ada interaksi antara gen-gen tidak satu alel.

Uji -t untuk karakter jumlah anakan produktif memperlihatkan bahwa koefisien regresi (b = 0.929 ± 0.267) berbeda nyata dari nol (b = 3.479) tetapi tidak berbeda nyata dari satu (unity) (b = 0.265) pada derajat bebas n - 2, menunjukkan ketidakhadiran interaksi antara gen-gen tidak satu alel (*absence of nonallelic interaction*) atau epistasis.

Tabel 1. Kuadrat tengah hasil analisis ragam di antara genotipe dari dua karakter

Sumber keragaman	Derajat bebas	Jumlah anakan produktif	Hasil gabah per rumpun (g)
Genotipe	27	13.118*	107.977*
Galat	84	1.565	11.894

*Nyata pada p ≤ 0.01

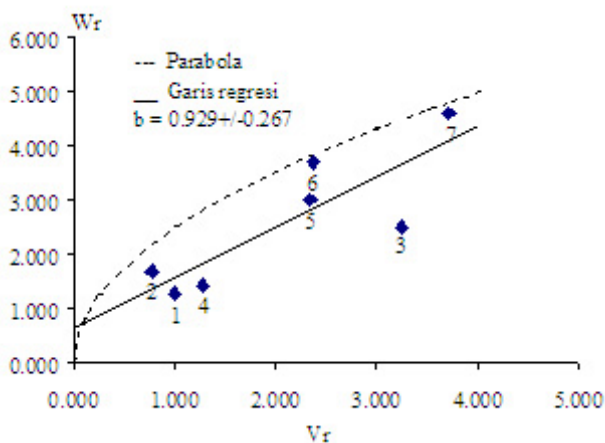
Analisis Grafik (V_r , W_r). Kecukupan model sederhana aditif-dominan lebih lanjut dipenuhi sebagai grafik W_r dan V_r , menunjukkan sebuah unit kemiringan dari garis regresi (Gambar 1).

Garis regresi memotong poros W_r di atas titik asal, menunjukkan pewarisan karakter jumlah anakan produktif dikendalikan secara dominan parsial. Jatiluhur, Situgintung, dan B8503E-TB-9-0-3 berada paling dekat origin mengindikasikan mempunyai gen-gen dominan paling banyak untuk karakter tersebut, sebaliknya IR 64 berada paling jauh dari titik asal (*origin*), mengindikasikan bahwa IR 64 mempunyai gen-gen resesif paling banyak untuk karakter tersebut.

Komponen Ragam Genetika. Pendugaan komponen ragam genetika karakter yang ditujukan untuk mempelajari aksi dan tipe gen yang mengendalikan karakter jumlah anakan produktif telah memenuhi kriteria yang dibuat berdasarkan kecukupan model aditif-dominan. Pada Tabel 3 dapat dilihat pendugaan pengaruh genetika dan nilai proporsional untuk karakter jumlah anakan produktif.

Pengaruh aditif (D), pengaruh dominan (H_1) ditemukan berbeda nyata, sebaliknya distribusi gen (F), dominan disebabkan distribusi gen positif dan negatif di dalam tetua (H_2), dominan disebabkan lokus-lokus heterozigot (h^2), dan lingkungan (E) tampak tidak berpengaruh nyata terhadap karakter jumlah anakan produktif.

Nilai proporsional derajat dominan rata-rata sebesar 0.740, proporsi gen-gen dengan pengaruh dominan dan positif atas tetua sebesar 0.231, proporsi gen-gen dominan dan resesif di dalam tetua sebesar 1.400, korelasi antara peragam ditambah ragam ($W_r + V_r$) dan Y_r sebesar 0.243, perkiraan pengukuran dari tetua dominan dan resesif secara lengkap adalah 0.059, nilai proporsional jumlah kelompok gen yang mengontrol karakter dan menunjukkan dominan adalah 0.066. Nilai heritabilitas dalam arti luas (hl) sebesar 0.886 atau 88.6% dan nilai heritabilitas dalam arti sempit (hs) sebesar 0.671 atau 67.1%.



Gambar 1. Grafik regresi ragam peragam (V_r , W_r) dari analisis dialel 7×7 untuk karakter jumlah anakan produktif. Seri silangan T. x T. 1. Situgintung, 2. Jatiluhur, 3. Gajah Mungkur, 4. B8503E-TB-9-0-3, 5. Krowal, 6. CT6510-24-1-3, 7. IR 64.

Tabel 3. Pendugaan parameter genetika untuk karakter jumlah anakan produktif dari persilangan dialel 7×7

Parameter genetika	Dugaan \pm SE	
(D) Pengaruh aditif	5.785 \pm 0.514**	
(H) Pengaruh dominan		
H_1	3.167 \pm 1.238*	
H_2	2.932 \pm 4.714	
h^2	0.193 \pm 0.733	
(F) Penyebaran gen	1.428 \pm 1.234	
(E) Pengaruh lingkungan	0.391 \pm 0.182	
Nilai proporsional		
$(H_1/D)^{1/2}$	Derajat dominan rata-rata	0.740
$(H_2/4H_1)$	Proporsi gen-gen dengan pengaruh + dan - atas tetua	0.231
$(KD / KR)^a$	Proporsi gen-gen dominan dan resesif di dalam tetua	1.400
r	Korelasi antara ($W_r + V_r$) dan Y_r	0.243
r^2	Perkiraan pengukuran dari tetua dominan dan resesif secara lengkap	0.059
h^2/H_2	Jumlah kelompok gen yang mengontrol karakter dan menunjukkan dominan	0.066
h (s)	Heritabilitas (dalam arti sempit)	0.671
h (l)	Heritabilitas (dalam arti luas)	0.886

*Nyata pada $p \leq 0.05$, **Nyata pada $p \leq 0.01$; a $KD/KR = [(4DH_1)^{1/2} + F] / [(4DH_1)^{1/2} - F]$

PEMBAHASAN

Keragaman penampilan yang terlihat dari suatu tanaman (fenotipe) merupakan hasil kombinasi keragaman karena pengaruh genetika dan lingkungan. Keragaman genetika yang menjadi fokus dalam pemuliaan tanaman merupakan keragaman yang disebabkan oleh pengaruh aksi gen aditif, pengaruh aksi gen dominansi dan pengaruh interaksi antar gen (Falconer 1960, 1996).

Total penampilan fenotipe yang terlihat sebesar 88.6% (hl) dipengaruhi oleh ragam genetika, dan sebesar 67.1% dari total ragam genetika tersebut dipengaruhi oleh aksi gen aditif, dan terdapat selisih sebesar 21.5%. Hal ini mengindikasikan kecilnya peran pengaruh aksi gen bukan aditif (dominansi dan interaksi antar gen) terhadap karakter jumlah anakan produktif (Tuan 2004).

Besarnya pengaruh ragam genetika (88.6%) dari total penampilan fenotipe, mengindikasikan kecilnya peranan pengaruh ragam lingkungan (E = 11.4%) terhadap karakter jumlah anakan produktif. Hal ini sesuai dengan hasil pendugaan terhadap komponen ragam genetika bahwa komponen ragam lingkungan tidak berpengaruh nyata terhadap karakter jumlah anakan produktif (Tabel 2).

Derajat dominansi $(H_1/D)^{1/2}$ adalah 0.740 (< 1) mengindikasikan bahwa gen-gen yang mengendalikan karakter jumlah anakan produktif berada dalam kisaran dominan parsial, hasil ini kembali dipertegas melalui hasil yang diperoleh dari analisis grafik (V_r , W_r), yaitu apabila nilai $D >$ nilai H_1 (apabila intersep positif atau sama artinya dengan garis regresi memotong sumbu W_r di atas titik asal) maka aksi gen untuk karakter jumlah anakan produktif dikendalikan secara dominan parsial. Rata-rata frekuensi alel-alel positif dan negatif di dalam tetua ($H_2/4H_1$) adalah 0.231 (lebih rendah dari 0.25)

mengindikasikan ketidakseimbangan rata-rata frekuensi alelik pada lokus-lokus dengan gen-gen dominan dan resesif, atau secara tidak langsung menyatakan bahwa gen-gen positif dan negatif tidak tersedia/hadir dalam proporsi yang seimbang di dalam tetua. Frekuensi gen-gen dominan dan resesif di dalam tetua (KD/KR) adalah 1.400 mengindikasikan gen-gen dominan yang berlebih. Hasil serupa telah dilaporkan pada padi (Khawid 1996). Korelasi positif antara ($W_r + V_r$) dan Y_r digambarkan oleh nilai r menunjukkan bahwa gen-gen dengan pengaruh positif adalah dominan melebihi gen-gen dengan pengaruh negatif. Jumlah kelompok gen yang berperan terhadap karakter yang menimbulkan dominansi (h^2/H_2) adalah minimal satu kelompok gen sesuai dengan hasil uji t terhadap nilai koefisien regresi menunjukkan tidak ada interaksi antar gen.

Melalui uji korelasi linier sederhana di antara komponen hasil (uji tidak ditampilkan), ditemukan bahwa hanya karakter jumlah anakan produktif yang menunjukkan hubungan nyata dan positif dengan karakter hasil gabah per rumpun dengan pengaruh aditif sangat nyata yang tercermin kembali melalui proporsi pengaruh heritabilitas arti sempit atas total fenotipe terbesar yaitu 0.671. Pengaruh aditif yang besar terhadap jumlah anakan produktif tersebut sesuai dengan pengamatan Mahmood *et al.* (2002). Besarnya pengaruh ragam genetika menyebabkan nilai heritabilitas arti luas untuk kedua karakter yang diamati menjadi tinggi berkisar dari 88.6-91.2% (Tabel 3) sejalan dengan laporan Syakhri (1997) dan Asfaruddin (1997) yang mengemukakan bahwa nilai heritabilitas arti luas komponen hasil 150 galur padi gogo pada tanah masam secara berturut-turut berkisar dari 79.40-99.62% dan 71.18-98.79%. Lebih lanjut dilaporkan oleh kedua peneliti ini berdasarkan hasil uji korelasi ditemukan bahwa hanya karakter jumlah anakan produktif yang mempunyai hubungan positif dan nyata dengan hasil gabah (produksi). Selain itu menurut Prasad *et al.* (2001), Surek dan Beser (2003) dari semua komponen hasil padi yang diteliti hanya karakter jumlah anakan produktif yang menunjukkan korelasi positif dan nyata terhadap hasil gabah (produksi).

Dasar keberhasilan pekerjaan pemuliaan tanaman sangat ditentukan oleh besarnya keragaman genetika yang dapat diwariskan dari tetua kepada turunannya. Komponen aditif merupakan satu-satunya komponen ragam genetika yang diwariskan dari tetua kepada keturunan, dan nilai heritabilitas arti sempit kembali memperlihatkan besaran tersebut melalui proporsi genetika dari total penampilan sebagai porsi yang sepenuhnya diwariskan oleh tetua kepada keturunan (Falconer 1960, 1996; Poehlman 1979; Poehlman & Sleper 1995).

Dari sudut pandang pemuliaan tanaman padi yang merupakan tanaman menyerbuk sendiri, maka seleksi harus dilakukan untuk pengaruh aditif dengan harapan dapat menghimpun genotipe-genotipe superior; seleksi menjadi tidak efektif jika genotipe superior tersebut ditentukan oleh pengaruh dominansi dan interaksi antar gen (Poehlman 1979; Poehlman & Sleper 1995).

Hasil pendugaan parameter genetika untuk karakter jumlah anakan produktif menunjukkan karakter ini dikendalikan oleh pengaruh aditif yang kuat dan tercermin melalui nilai

heritabilitas arti sempit (0.671) sebagai proporsi genetika yang diwariskan dari tetua kepada keturunannya. Dengan menggunakan intensitas seleksi cukup ketat dapat diharapkan kemajuan seleksi yang akan diperoleh. Seleksi akan memberi sumbangan besar untuk keberhasilan program pemuliaan yang pada intinya adalah untuk usaha menghimpun genotipe-genotipe superior melalui pewarisan ke dalam satu individu tanaman. Menurut Surek dan Beser (2003), perbaikan hasil padi akan lebih efisien apabila seleksi dilakukan berdasarkan karakter jumlah anakan produktif per meter persegi.

Berdasarkan hasil pendugaan parameter genetika melalui analisis silang dialel 7×7 diketahui bahwa pengaruh aditif dan dominan berperan nyata pada pewarisan karakter jumlah anakan produktif dengan dikendalikan secara dominan parsial (Tabel 2). Jumlah kelompok gen yang mengendalikan karakter jumlah anakan produktif adalah satu kelompok gen (Tabel 2). Karena besarnya pengaruh genetika (aditif dan dominan) terhadap karakter jumlah anakan produktif, menyebabkan heritabilitas arti luas (88.6%) dan heritabilitas arti sempit (67.1%) mempunyai nilai tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Kementerian Riset dan Teknologi Indonesia atas bantuan sebagian dana untuk penelitian ini melalui Proyek Riset Unggulan Terpadu (RUT) VIII, kontrak Nomor 011.07/SK/RUT/2001; Tanggal 26 Januari 2001 a.n. Surjono Hadi Sutjahjo dengan judul: Pemuliaan Padi Gogo bagi Adaptasi terhadap Tanah Masam: Seleksi dengan Metode Populasi Bulk dan Penanda Molekular *Random Amplified Polymorphic DNA* (RAPD).

DAFTAR PUSTAKA

- Antonio BA, Miyao A, Nagamura Y, Sasaki T. 2003. The rice genome resource center as an outlet for distribution of biological material from rice genome project. *Rice Genet Newslet* 20:10-12.
- Asfaruddin. 1997. Evaluasi ketenggangan galur-galur padi gogo terhadap keracunan aluminium dan efisiensinya dalam penggunaan kalium [Tesis]. Bogor: Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Blum A. 1988. *Plant Breeding for Stress Environments*. Florida: CRC Pr.
- Ceccarelli S. 1994. Specific adaptation and breeding for marginal conditions. *Euphytica* 77:205-219.
- Ceccarelli S. 1996. Adaptation to low/high input cultivation. *Euphytica* 92:203-214.
- Falconer DS. 1960. *Introduction to Quantitative Genetics*. London: Longman.
- Falconer DS. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*. Ed ke-4. London: Longman.
- Hayman BI. 1954a. The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics* 10:235-244.
- Hayman BI. 1954b. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics* 39:789-809.
- [IRRI] International Rice Research Institute. 1996. *Standard Evaluation System for Rice*. Ed ke-4. Manila.
- Jinks JL. 1954. The analysis of continuous variation in a diallel cross of *Nicotiana rustica* varieties. *Genetics* 39:767-788.
- Johnson LPV. 1963. Applications of the diallel cross technique to plant breeding. Di dalam: Hanson WD, Robinson HF (ed). *Statistical Genetics and Plant Breeding*. Washington: National Acad of Sci. National Res. Council. hlm 561-569.

- Khaliwada SP, Senadhira D, Carpena AL, Zeigler RS, Fernandez PG. 1996. Variability and genetics of tolerance for aluminium toxicity in rice (*Oryza sativa* L.). *Theor Appl Genet* 93:738-744.
- Ma FJ *et al.* 2002. Response of rice to Al stress and identification of quantitative trait loci for Al tolerance. *Plant Cell Physiol* 43:652-659.
- Mahmood T *et al.* 2002. Combining studies in Rice (*Oryza sativa* L.) under salinized soil conditions. *Asian J of Plant Sci* 2:88-90.
- Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Ed ke-2. San Diego: Acad Pr.
- Mather K, Jinks JL. 1982. *Biometrical Genetics*. Ed ke-3. London: Chapman and Hall Ltd.
- Obara M *et al.* 2004. Identification and characterization of a QTL on chromosome 2 for cytosolic glutamic synthetase content and panicle number in rice. *Theor Appl Genet* 110:1-11.
- Poehlman JM. 1979. *Breeding Fields Crops*. Ed ke-2. USA: Avy Westport.
- Poehlman JM, Sleper DA. 1995. *Breeding Fields Crops*. Ed ke-4. USA. Iowa State University Pr/Ames.
- Prasad B, Patwary AK, Biswas PS. 2001. Genetic variability and selection criteria in fine rice (*Oryza sativa* L.). *Pakistan J Biol Sci* 4:1188-1190.
- Prasetyono J, Tasliah, Aswidinnoor H, Moeljopawiro S. 2003. Identifikasi marka mikrosatelit yang terpaut dengan sifat toleransi terhadap keracunan aluminium pada padi persilangan Dupax x ITA131. *J Biotek* 2:35-45.
- Sanches PA, Salinas JG. 1981. Low-input technology for managing oxisols and ultisols in tropical America. *Adv Agron* 34:279-406.
- Sasaki T. 2002. Rice genomics to understand rice plant as assembly of genetic codes. *Current Sci* 83:834-839.
- Sasaki T. 2003. Rice Genome analysis: understanding the genetic secrets of the rice plant. *Breed Sci* 4:281-289.
- Singh RK, Chaudhary BD. 1979. *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis*. New Delhi: Kalyani Publ.
- Surek H, Beser N. 2003. Correlation and path coefficient analysis for some yield-related trait in rice (*Oryza sativa* L.) under thrace conditions. *Turk J Agric* 27:77-83.
- Syakhriil. 1997. Evaluasi Reaksi Galur-Galur Padi Gogo terhadap Cekaman Aluminium dan Kekurangan Nitrogen [Tesis]. Bogor: Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Tigerstedt PMA. 1994. Adaptation, variation and selection in marginal areas. *Euphytica* 77:171-174.
- Trikoesoemaningtyas. 2002. Fisiologi dan Pewarisan Sifat Efisiensi Kalium dalam Keadaan Tercekam Aluminium pada Padi Gogo (*Oryza sativa* L.) [Disertasi]. Bogor: Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Tuwan MA. 2004. Daya Gabung dan Pewarisan Karakter Agronomik Padi Gogo (*Oryza sativa* L.) pada Tanah Podsolik Merah Kuning [Tesis]. Bogor: Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.