

# ANALISIS PENGARUH UTAMA ADITIF DAN INTERAKSI GANDA <sup>1)</sup>

Ahmad Ansori Mattjik <sup>2)</sup>

## RINGKASAN

*Analisis ANAM (Additive Main Effect and Multiplicative Interaction) atau UAG (Pengaruh Utama Aditif dan Interaksi Ganda) sudah mulai marak digunakan peneliti untuk melihat interaksi, terutama interaksi genotipa x lingkungan. Pada tulisan ini akan dibahas mengenai tinjauan dari analisis UAG sebagai satu cara untuk diagnosa dan seleksi metoda diantara lima metoda penanganan interaksi yang telah digunakan banyak peneliti (komposit, satu-db untuk non-aditif, kontras db-tunggal, regresi, dan sidik komponen utama untuk interaksi). Pada kesempatan lain akan dibahas penerapan UAG pada berbagai bidang.*

## PENGANTAR

Interaksi genotipa x lingkungan (GxE) sangat menarik perhatian pemulia khususnya dan agronom pada umumnya. Interaksi biasanya kompleks sehingga sukar dimengerti. Salah satu cara untuk memperoleh keterangan mengenai interaksi adalah dengan mengadakan percobaan uji hasil, yaitu dengan pengamatan terhadap hasil, biasanya diulang, untuk genotipa-genotipa yang ditanam pada beberapa lingkungan (kombinasi antara lokasi dan waktu). Data yang dihasilkan biasanya agak tercemar (noisy) dengan koefisien keragaman diatas 25%.

Pemulia menggunakan data uji hasil untuk mengidentifikasi genotipa-genotipa harapan, agronom menggunakannya untuk membuat

rekomendasi, misalnya pada petani. Tingkat keberhasilan untuk mencapai kedua tujuan tersebut akan bergantung pada dua faktor: (i) ketepatan dugaan hasil, dan (ii) besarnya interaksi genotipa x lokasi, genotipa x tahun, dan genotipa x lokasi x tahun. Kedua faktor tersebut menggambarkan ketepatan dalam pengujian dan daya ramal antar pengujian. Ketepatan dalam pengujian akan berlanjut ke keberhasilan dalam daya ramal antar pengujian.

Ketepatan dalam pengujian dari suatu model statistika dapat dilihat dari dua kriteria dasar yang berbeda: (a) keberhasilan total (*postdictive* success) memperhatikan kesesuaian model dengan seluruh data yang ada, sedangkan (2) keberhasilan ramalan (*predictive* success) memperhatikan kesesuaian model yang dibangun dari sebagian data dan divalidasi dengan data lain yang tidak diikuti sertakan dalam membangun model. Keduanya menggunakan model awal yang tidak lengkap, dengan memperhatikan pengalaman empirik sumber yang potensial dimasukkan ke dalam model, atau sebagai alternatif menelaah model

<sup>1)</sup> Seri Rangkaian Tulisan untuk Forum Statistika dan Komputasi

<sup>2)</sup> Staf Pengajar dan Dekan FMIPA-JPB

## CONTOH PENERAPAN

Data yang digunakan adalah data publikasi Biro Pusat Statistik serta Data Pokok Pembangunan Kabupaten Ciamis dan Tasikmalaya.

Dari hasil analisis data diperoleh nilai dugaan koefisien keragaman dengan berbagai metode seperti tercantum dalam Tabel 2. - Tabel 4. Hasil analisis KTGA disajikan pada Gambar 4.4.

Dari Gambar 4.4. dapat dilihat bahwa semua parameter yang diamati memberikan hasil yang dapat dikelompokkan ke dalam dua kelompok, yaitu kelompok pertama yang menghasilkan SRMLE sebagai penduga terbaik dan kelompok kedua yang menghasilkan SPTMLE sebagai penduga terbaik.

Kajian pada parameter-parameter yang diamati mengindikasikan pentingnya memasukkan data awal ke dalam proses pendugaan yang baru. Pembobot untuk informasi awal ini bisa sampai 0.5 dengan metode penduga yang digunakan SRMLE atau SPTMLE tergantung besarnya KTGA masing-masing penduga.

Secara umum dapatlah dikatakan bahwa untuk data-data survei, koefisien keragaman awal perlu dimasukkan ke dalam proses pendugaan dengan pembobot  $0 < k < 1$ . Pembobot koefisien keragaman awal sebesar  $0.8 < k < 1$  disarankan untuk tidak digunakan karena bisa mengakibatkan timbulnya *KTGA* yang sangat besar.

Hasil analisis diatas mengindikasikan perlunya kehati-hatian, baik dalam melaksanakan survei maupun membaca data hasil survei agar tidak terjebak dalam pada kesalahan yang tidak perlu. Kemungkinan terjadinya kesalahan bisa diperkecil dengan jalan menyertakan informasi awal yang sudah ada.

## KESIMPULAN

Dari hasil kajian, baik secara teoritis maupun terapan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Tidak ada satupun diantara keempat metode penduga koefisien keragaman yang *selalu lebih baik* dari penduga lainnya. Kebaikan setiap penduga sangat tergantung pada ketepatan informasi awal yang dimiliki.
- Untuk penelitian lapangan, informasi awal sangat diperlukan sehingga penduga yang paling cocok adalah SRMLE atau SPTMLE dengan pembobot bisa sampai 0.5.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S. E. (1991). To pool or not to pool : The discrete data, *Statistics and probability letters*, 11, pp 233-237.
- Ahmed, S.E. (1994). Improved estimation of the coefficient of variation, *Journal of Applied Statistics*, 21, pp 565-573.
- Ahmed, S. E. and A. K. M. E. Saleh. (1988). Pooling multivariate data, *J. Statist. Comput. Simul*, 31, pp 149-167
- Ahmed, S. E. and A. K. M. E. Saleh. (1990). Estimation strategies for the intercept vector in a simple linear multivariate normal regression, *Computational Statistics and Data Analysis*, 10, 193-206.
- Johnson, N.L. and Kotz, S. (1970). Distribution in Statistics, Houghton Mifflin Company, Boston.
- Thompson, J. R. (1968). Some shrinkage technique for estimating the mean, *Journal of American Statistical Association*, 63, pp 113-122. ⊗

sisaan (Bancroft, 1964). Apabila data tercemar, keberhasilan total dan keberhasilan ramalan memberikan perbedaan, dan dari hasil percobaan umumnya didapatkan bahwa model yang ditentukan dengan kriteria keberhasilan ramalan akan lebih sederhana dari pada model yang dipilih dengan kriteria keberhasilan total. Kedua cara ini biasanya dibandingkan dan dengan strategi statistika dipilih yang paling cocok.

Memilih strategi statistika yang akan digunakan untuk menganalisis sekumpulan data dari uji hasil, atau khususnya dari satu percobaan uji hasil, diperlukan beberapa ketentuan: (1) kemungkinan data untuk diperlakukan tertentu, misalnya transformasi untuk menghasilkan model yang aditif atau membuat sisaan menyebar normal, (2) pemilihan model dari banyak sekali kemungkinan model yang dapat dibuat dari pemilahan derajat bebas (db) perlakuan (GE-1) dengan berbagai cara. Khususnya dalam menyekat db interaksi (G-1)(E-1), dan (3) menentukan validasi yang berkaitan erat dengan pemilihan model tertentu, dan harus menunjukkan ketepatan dan keterbatasan model. Kombinasi dari ketiga ketentuan ini akan menghasilkan banyak sekali cara analisis statistika.

Struktur data, tujuan penelitian, dan pemilihan model saling bertautan secara kompleks. Validasi model harus mencerminkan maksud dari percobaan. Keseimbangan antara model yang dikehendaki dengan ketepatan harus diberi perhatian utama berdasarkan permasalahannya. Setiap perlakuan terhadap data harus dievaluasi berdasarkan kebutuhan dari pandangan agronomi, kepentingan dan nilai data, juga kepentingan statistika.

Pada tulisan ini akan diutarakan beberapa pilihan analisis untuk data uji hasil, penekanan utama diberikan pada pemilihan model dan validasi. Perhatian utama pada penggunaan

model biplot dari AMMI (Gollob, 1968; Bradu dan Gabriel, 1978; Kempton, 1984) yaitu *additive main effect and multiplicative interaction* atau pengaruh utama aditif dengan interaksi ganda, UAIG diikuti validasi diantara ketepatan percobaan melalui ukuran keberhasilan ramalan dengan cara mebagi dua data. Meskipun diskusinya hanya untuk data uji hasil, tetapi metoda ini secara umum dapat berlaku untuk data tabel kontingensi  $G \times E$  dengan ulangan dan data yang tercemar tetapi mengandung interaksi penting.

Validasi menggunakan keberhasilan ramalan lebih diutamakan dari keberhasilan total karena dua alasan: (1) diagnosa keberhasilan ramalan lebih sederhana dan memberikan model yang lebih bermanfaat, (2) keberhasilan ramalan sangat memberi harapan bila diagnosa modelnya efektif.

Model UAIG adalah:

$$Y_{ge} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_{n=1}^N \lambda_n \gamma_{gn} \delta_{en} + \theta_{ge}$$

dimana

- $Y_{ge}$  adalah hasil genotipa  $g$  di lokasi  $e$ ;
- $\mu$  adalah nilai tengah;
- $\alpha_g$  adalah tambahan pengaruh genotipa terhadap rata-rata
- $\beta_e$  adalah tambahan pengaruh lokasi terhadap rata-rata
- $\lambda_n$  adalah akar ciri dari komponen utama interaksi ke- $n$
- $\gamma_{gn}$  dan  $\delta_{en}$  adalah skor komponen utama interaksi ke- $n$  untuk genotipa dan lokasi
- $N$  adalah banyak komponen utama interaksi yang disertakan dalam model
- $\theta_{ge}$  adalah sisaan

Bila percobaan berulangan dapat ditambahkan  $\epsilon_{ger}$ , yaitu perbedaan antara rata-rata  $Y_{ge}$  dengan pengamatan pada ulangan ke- $r$ .

Pengolahan data dimulai dengan menerapkan metoda kuadrat terkecil pada model aditif dengan Sidik Ragam biasa, kemudian interaksinya, yaitu sisaan yang tidak aditif, dianalisis dengan Sidik Komponen Utama.

Untuk menerapkan model UAIG dan evaluasi keberhasilan ramalannya sebenarnya bukan masalah, hanya pekerjaannya saja menjadi lebih banyak (Gauch, 1988, 1992). Tetapi tidak menjadikan keruwetan dalam perancangan percobaan ataupun di lapang. Ulangan, atau sedikitnya sebagian berulangan, diperlukan, tetapi hal ini biasa dalam kebanyakan percobaan uji hasil. Jadi, keuntungan yang dihasilkan dari model UAIG tidak menyebabkan perhitungan, perancangan percobaan, ataupun pekerjaan di lapang yang terlalu berat.

### SELEKSI MODEL

Dua langkah seleksi model, langkah pendahuluan melihat keperluan memperlakukan data dengan transformasi untuk menghilangkan atau mengurangi interaksi, dan langkah utama melakukan pemecahan db perlakuan (GE-1) yaitu kombinasi genotipa dan lokasi.

Bila interaksi ada, biasanya ditunjukkan pada Sidik Ragam, analisis statistika yang baku menganjurkan untuk mencoba menghilangkan interaksi (Cox, 1984). Seperti perlakuan data yang banyak dilakukan, Finlay dan Wilkinson (1963) membuat transformasi logaritma pada pengukuran hasil barley untuk meningkatkan nilai data secara statistika. Tetapi, seperti yang diperingatkan oleh Knight (1970), transformasi logaritma meningkatkan pengaruh nilai data yang kecil dengan mengurangi pengaruh nilai data yang besar, ini agak menyimpang dari kebiasaan agronom yaitu memberikan

perhatian kepada nilai data yang besar (Finney, 1973). Demikian juga, nilai dari suatu tanaman akan lebih baik didekati dengan persamaan linear hasil dari pada dengan logaritma. Mempertahankan satuan pengukuran juga mempermudah interpretasi hasil dalam membuat laporan akhir. Bila terjadi konflik antara agronom dengan statistikawan, maka biasanya pendapat agronom akan lebih banyak diperhatikan.

Pemilahan db perlakuan (GE-1) tidak terlalu sukar apalagi bila penekanan utama pada genotipa, dengan sebagian pada lokasi. Seperti yang biasa dilakukan dalam Sidik Ragam yang menghasilkan db genotipa (G-1), db lokasi (E-1), dan db interaksi (G-1)(E-1). Sebenarnya, sebagai alternatif dari pemilahan db, seperti menggunakan Sidik Komponen Utama, mungkin akan memberikan hasil yang lebih efisien untuk data uji hasil tertentu. Tetapi, keuntungan efisiensi secara statistika harus dapat diimbangi dengan kehilangan pengertian genotipa dari suatu data uji hasil.

Untuk selanjutnya akan diandaikan bahwa kita menghadapi pengukuran data tanpa transformasi, kemudian pengolahan awal dengan Sidik Ragam. Sehingga pekerjaan selanjutnya adalah mencari suatu pemilahan db interaksi yang efektif.

Sedikitnya ada lima cara untuk memilah db interaksi (G-1)(E-1):

1. **Komposit.** Menganggap bahwa interaksi adalah satu kesatuan dengan db (G-1)(E-1). Pilihan ini tidak menganjurkan pemecahan interaksi setelah pengolahan Sidik Ragam.
2. **Satu-db untuk non-aditif.** Untuk hal yang sangat khusus (semua regresi Finlay-Wilkinson bersilangan pada satu titik), interaksi dapat dijelaskan sebagai konstanta kali matrik produk pengaruh utama aditif dari genotipa dan lingkungan. Gabungan regresi memerlukan satu db.

3. **Kontras db-tunggal.** Keinginan untuk melakukan kontras terpacu terutama bila satu atau beberapa genotipa dan lingkungan berkelakuan sangat berbeda dengan lainnya. Genotipa dan lingkungan atau keduanya digolongkan sehingga data menjadi lebih sederhana (Byth, Eisemann, and De Lacy, 1976).
4. **Regresi.** Finlay dan Wilkinson (1963) yang mempopulerkan regresi dari hasil setiap genotipa dengan rata-rata lingkungan, memberikan db (G-1) untuk regresi genotipa dan db sisaan (G-1)(E-2).
5. **Sidik Komponen Utama untuk Interaksi.** Selain melakukan sidik komponen utama langsung terhadap data asal, dapat juga dilakukan terhadap data sisaan dari model aditif, yaitu terhadap interaksi. Ini yang dikenal dengan cara UAIG (Bradu dan Gabriel, 1978). Biasanya jumlah kuadrat (JK) interaksi terkonsentrasi pada komponen utama pertama atau beberapa komponen utama saja. Ada beberapa cara untuk menghitung banyaknya db yang terlibat pada komponen utama, cara yang paling sederhana (Gollob, 1968) dengan menggunakan teori kompleks atau simulasi ekstensif, dan cara ini yang akan digunakan, untuk db komponen ke-n adalah  $(G+E-1-2n)$ .

### VALIDASI MODEL

Tidak mudah untuk memberikan rekomendasi dari kelima penanggulangan interaksi tersebut diatas. Untuk setiap data set perlu perhatian tersendiri dengan mempertimbangkan: kaedah umum statistika, validasi model dengan penyelarasan keberhasilan total, dan validasi model dengan penyelarasan keberhasilan ramalan.

Memperlakukan interaksi sebagai komposit akan bermasalah karena db yang besar akan membuat kuadrat tengah (KT) interaksi menjadi kecil sehingga dalam uji-F cenderung untuk tidak nyata meskipun JK-nya besar. Lebih lagi pernyataan bahwa interaksinya nyata atau tidak nyata, tidak akan memberikan penjelasan yang mendalam bagi agronom atau pemulia tentang materi yang digunakan.

Ada dua salah pengertian yang sering terjadi dalam pengujian interaksi pada penelitian agronomi atau pemuliaan. Pertama, ketika menguji pengaruh utama dan interaksi, pengaruh interaksi tidak dapat dianggap bebas stokastik tetapi lebih sebagai permulaan (Bancroft, 1964). Dalam arti, bila genotipa dan lokasi diuji pada taraf 0.05, interaksi harus diuji pada taraf yang berbeda yaitu 0.25, tidak serupa dengan kebiasaan yang selalu digunakan dalam agronomi yaitu menggunakan 0.05 untuk semua pengujian. Kedua, pengujian interaksi secara komposit mempunyai kuasa-uji yang lebih kecil, seperti dijelaskan oleh agronom (Freeman, 1973) yang senada dengan statistikawan (Cox, 1984). Sayangnya, salah pengertian yang sering dibuat adalah bila interaksi komposit tidak nyata maka tidak perlu lagi dilakukan penyelidikan lebih jauh terhadap interaksi (Hill, 1975). Meskipun, dalam hal yang sangat ekstrim seluruh JK interaksi dapat dijelaskan dengan satu db kontras yang menyebabkan KT sama dengan JK. Jadi, hanya jika interaksi tidak nyata bila diberi db tunggal, maka usaha untuk pemilahan interaksi tidak akan membuahkan hasil. Jelas, kedua salah pengertian mengenai interaksi komposit tersebut menyebabkan interaksi dapat dilupakan lebih dini.

Sidik regresi Finlay-Wilkinson sering merupakan analisis yang efektif, dan memberikan parameter yang dapat memberikan banyak pengertian bagi kepentingan agronom atau pemulia. Tetapi tidak jarang memberikan

hasil yang tidak cocok atau bahkan tidak memberikan apa-apa (Hill, 1975).

Kontras interaksi db-tunggal bermasalah karena biasanya berkaitan dengan bilangan besar. Kebanyakan uji hasil memberikan ratusan db untuk interaksi. Tetapi, membuat klasifikasi genotipa dan lokasi mungkin lebih dapat membantu (Byth *et al.*, 1976).

Akhirnya memisahkan satu db-tunggal untuk non-aditif juga bermasalah karena mengasumsikan struktur interaksi tertentu biasanya tidak tepat.

Karena permasalahan ini, UAIG memberikan alternatif kemungkinan tambahan. Hal yang menarik adalah memberi kemungkinan penyertaan secara sekuensial dari tanpa sampai seluruh interaksi sumbu komponen utama. Perlu diingat bahwa kelima metoda analisis tadi bukan hanya kompetitif, tetapi untuk hal tertentu juga saling mengisi. Atau salah satu cocok untuk data tertentu.

UAIG dapat juga digunakan untuk diagnosa (Bradu dan Gabriel, 1974, 1978), dan dapat menunjukkan analisis mana yang lebih baik digunakan untuk data set tertentu. Biplot yang tersedia dalam UAIG merupakan alat diagnostik yang baik untuk mengidentifikasi kontras interaksi db-tunggal, konkurensi, dan regresi Finlay-Wilkinson. Bila hanya bagian aditif atau multiplikatif UAIG saja yang nyata, maka Sidik Ragam atau Sidik Komponen Utama yang lebih tepat. Bila sumbu komponen utama UAIG tidak efektif dalam memusatkan pada beberapa sumbu utama saja, maka interaksi mungkin sangat kompleks dan akan sangat sukar atau tidak mungkin diperoleh model yang diharapkan atau model tereduksi, maka Sidik Ragam dengan komposit interaksi lebih cocok untuk mendiagnosis model rata-rata.

Apapun cara yang dipilih untuk mempelajari interaksi, sisaan dari bagian aditif UAIG perlu diperhatikan untuk meyakinkan

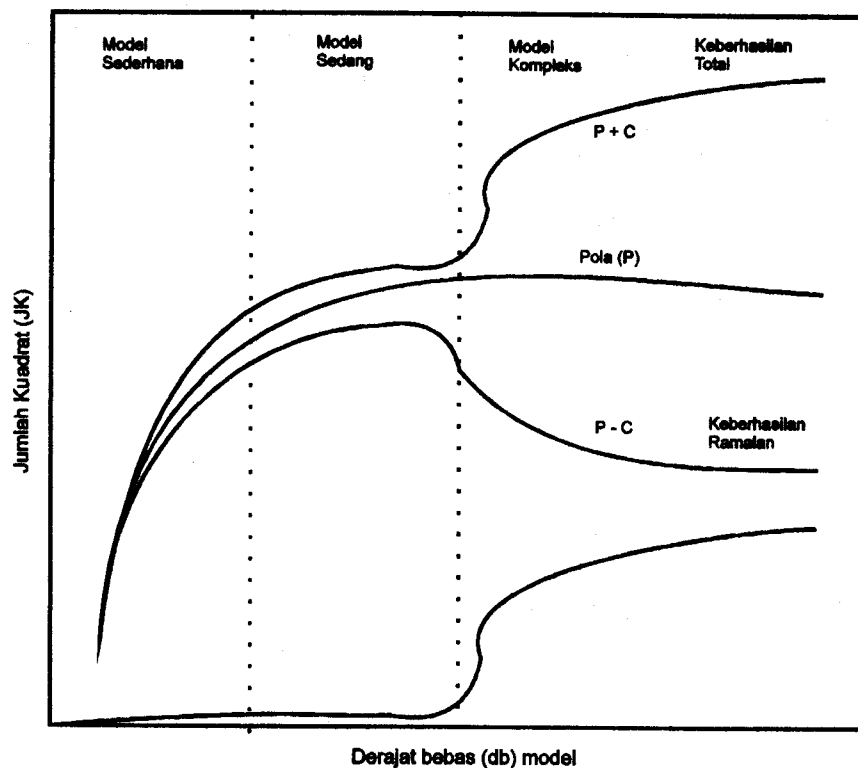
bahwa interaksi yang terjadi bukan disebabkan karena data penciran.

Kemampuan untuk mereduksi, menghasilkan model yang cocok dengan datanya adalah hal yang diberikan oleh cara keberhasilan total, seperti ditunjukkan oleh uji-F dan dengan memperhatikan persentase JK untuk model yang diperoleh. Evaluasi mengenai cara keberhasilan total telah dilakukan oleh banyak peneliti, Gollob (1968) menganjurkan untuk menggunakan uji-F sederhana sebagai cara pengujian model dan diinterpretasikan secara konservatif.

Cara membuat model dengan validasi dilakukan dengan pemodelan keberhasilan ramalan. Untuk mengartikan dua pendekatan keberhasilan total dan ramalan diperlukan pengertian mengenai konsep dasar.

Pertama, asumsi bahwa 'data = pola + cemaran' (Freeman, 1973), sehingga dapat dikatakan data terdiri dari dua bagian yaitu pola dan cemaran. Analisis statistika menekankan pada penggalan pola dibandingkan dengan data secara keseluruhan. Seandainya JK data mengandung pola sebesar 75% dan cemaran 25%, maka analisis statistika tidak mengusahakan penggambaran data 100%, tetapi hanya mengusahakan agar pola dapat tergambarkan seluruhnya atau 75% dari data. Kemudian apabila suatu percobaan mempunyai ulangan dua, maka data dapat digambarkan sebagai 'data<sub>1</sub>=pola+cemaran<sub>1</sub>' untuk ulangan-1 dan 'data<sub>2</sub>=pola+cemaran<sub>2</sub>' untuk ulangan-2, jadi pola itu diharapkan tetap sehingga akan mudah untuk diduga dengan baik sedangkan cemaran tidak terkontrol sehingga hampir tidak dapat diduga.

Kedua, analisis peubah ganda dapat menyeleksi keadaan data dan memberikan gambaran pola pada db permulaan, sedangkan pada akhir menggambarkan cemaran. Gambaran ini telah ditunjukkan pada data simulasi yang mengandung pola dan cemaran



Gambar 1. Ilustrasi Keterkaitan Antara Model dengan JK dan db

dengan menggunakan analisis komponen utama yang disebut kebalikan rata-rata (Wold, 1978). Gambaran ini diperlihatkan pada Gambar-1. Penjelasanannya sangat sederhana, pola ditentukan sebagian besar oleh korelasi matrik nilai sedangkan cemarannya banyak ditentukan oleh simpangan pada matrik perbedaan individu, sehingga analisa akarciri awal akan lebih menggambarkan pola seperti pada analisis komponen utama atau UAIG. Suatu hal yang sangat mengembirakan adalah ketika pola diusahakan tergambar pada db awal, cemarannya akan tersisih dari proses karena pola menekan kemunculan dari cemarannya. Tetapi kelihatannya, penyeleksian pada awal ini disebabkan karena polanya cukup menonjol,

apabila cemarannya sangat besar pengaruhnya akan sangat sukar terekspresikan pada awal, bahkan mungkin tidak dapat diperoleh polanya. Model UAIG menyerupai pendekatan deret Taylor memberikan kemungkinan besar untuk secara efektif memberikan model yang baik (Bradru, 1984)

Dengan memperhatikan dua konsep dasar tersebut, akan lebih mudah untuk menangkap perbedaan keberhasilan total dan ramalan. Dapat disarikan bahwa pada keberhasilan total (i) tidak membedakan pola dan cemarannya, (ii) ketepatan model akan diperoleh bila db model terakumulasi, (iii) dan menganggap bahwa model penuh adalah model yang baik. Sedangkan pada keberhasilan ramalan (i)

membedakan pola dan cecaran, (ii) memperlihatkan peningkatan awal diikuti dengan penurunan ketepatan, (iii) model penuh dianggap kurang menggambarkan dibandingkan dengan model tereduksi. Model dugaan dari keberhasilan ramalan akan memberikan dugaan lebih baik pada data validasi dibandingkan dengan yang digunakan untuk membentuk model.

Tujuan utama dalam membangun model adalah untuk mencapai ketepatan dan keberhasilan menduga. Karena pola ditambah cecaran atau 'P+C' menggambarkan pembentukan model dengan keberhasilan total selalu meningkat, maka akan memperbesar ketidakselarasan sehingga sulit untuk membuat diagnosa. Sebaliknya pola dikurangi cecaran atau 'P-C' menggambarkan pembentukan model dengan keberhasilan ramalan pada awalnya meningkat kemudian menurun, tidak ada alasan untuk menumpuk db setelah titik balik, sehingga diagnosa akan lebih mudah (Gambar 1).

### KEPUSTAKAAN

- Bancroft, T.A. 1964. Analysis and inference for incompletely specified models involving the use of preliminary test(s) of significance. *Biometrics* (20):427-422
- Bradu, D. 1984. Response surface model diagnosis in two-way tables. *Communications in statistics-Theory and Methods* (13):3059-3106
- Bradu, D. and K.R.Gabriel. 1974. Simultaneous statistical inference on interaction in two-way analysis of variance. *Journal of the American Statistical Association* (69): 428-436
- Bradu, D. and K.R.Gabriel. 1978. The biplot as a diagnostic tool for models of two-way tables. *Technometrics* (20):47-68
- Byth, D.E., R.L.Eisemann, and I.H.De Lacy. 1976. Two-way pattern analysis of a large data set to evaluate genotypic adaptation. *Heredity* (37):215-230
- Cox, D.R. 1984 Interaction. *International Statistics Review* (52):1-31
- Finlay, K.W. and G.N.Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research* (14):742-754
- Finney, D.J. 1973. Transformation of observations for statistical analysis. *Cotton Growth Review* (50):1-14
- Freeman, G.H.1973. Statistical methods for the analysis of genotype-environment interactions. *Heredity* (31):339-354
- Gauch, H.G.1988. Model selection and validation for yield trial with interaction. *Biometrics* (44):705-715
- Gauch, H.G. 1992. Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial design. Elsevier Science Publisher B.V. Amsterdam. 278pp
- Gollob, H.F. 1968. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. *Psychometrika* (33):73-115
- Hill, J. 1975. Genotype-environment interactions -- a challenge for plant breeding. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* (85):477-493