

Perbandingan Fungsi Respons Stokastik Hasil Kedelai Terhadap Pemupukan Kalium

MOHAMMAD MASJKUR

Departemen Statistika-FMIPA, Institut Pertanian Bogor
m_masjkur@yahoo.com

ABSTRAK

Fungsi respons stokastik hasil tanaman terhadap pemupukan diketahui lebih baik daripada versi deterministik bagi penentuan dosis optimum rekomendasi pemupukan suatu wilayah. Namun demikian, pemilihan bentuk fungsi yang sesuai bagi kondisi pertanaman tertentu juga perlu dievaluasi secara kritis. Kajian ini ditujukan untuk mengetahui model terbaik fungsi respons stokastik hasil kedelai terhadap pemupukan kalium. Penelitian ini dilakukan berdasarkan pada data percobaan multilokasi respons hasil kedelai terhadap pemupukan kalium. Model parameter tetap (M1) linear plateau, Spillman-Mitscherlich, kuadrat, dan logistik dibandingkan dengan model parameter acak dengan 1 (M2) atau 2 pengaruh acak (M3) menggunakan $-2 \log$ -likelihood, Akaike information criterion, dan Bayesian information criterion. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai AIC model parameter tetap (M1) secara berurutan adalah logistik < Spillman-Mitscherlich < linear plateau < kuadrat. Adapun nilai AIC model parameter acak (M2) secara berurutan adalah kuadrat < Spillman-Mitscherlich < logistik < linear plateau. Model parameter acak (M3) secara berurutan adalah linear plateau < Spillman-Mitscherlich < logistik. Model terbaik bagi respons hasil kedelai terhadap pemupukan kalium adalah model linear plateau stokastik dengan pengaruh acak intersep dan plateau.

Kata Kunci: fungsi respons, kedelai, pengaruh tetap, pengaruh acak, rekomendasi pemupukan wilayah.

ABSTRACT

Stochastic yield response function to fertilizer was known better than deterministic version to determine optimum doses of regional fertilizer recommendation. However, selection of functional forms suitable for certain cropping condition was also critical. This study was intended to know the best model of stochastic soybean yield response function to potassium fertilizer. The research was conducted based on multilocation experimental data of soybean yield response to potassium fertilizer. The fixed parameter models (M1) of linear plateau, Spillman-Mitscherlich, quadratic and logistic were compared with the random parameter models containing either 1 (M2) or 2 random effects (M3) using $-2 \log$ -likelihood, Akaike information criterion, and Bayesian information criterion. Results showed that AIC values of fixed parameter models (M1) sequentially were logistic < Spillman-Mitscherlich < linear plateau < quadratic. Meanwhile, AIC values of random parameter models (M2) sequentially were quadratic < Spillman-Mitscherlich < logistic < linear plateau. The random parameter models (M3) sequentially were linear plateau < Spillman-Mitscherlich < logistic. The best model for soybean yield response to potassium fertilizer was stochastic linear plateau model with location intercept and plateau random effects.

Keywords: response functions, soybean, fixed effect, random effects, regional fertilizer recommendation.

1. PENDAHULUAN

Penyusunan rekomendasi pemupukan kalium pada kedelai didasarkan pada kurva respons pemupukan umum untuk masing-masing kelas uji tanah menggunakan regresi kuadrat dengan metode kuadrat terkecil dengan asumsi sisaan menyebar normal, bebas dan mempunyai ragam sama. Parameter model diasumsikan mempunyai nilai tetap (*fixed value*). Namun demikian, beberapa peneliti menyatakan bahwa asumsi parameter model mempunyai nilai tetap tidak realistis bagi data percobaan pemupukan multilokasi. Pendekatan model parameter tetap mengabaikan keragaman yang mungkin terjadi dalam lokasi dan antar lokasi. Juga korelasi yang mungkin terjadi antar pengamatan (Wallach, 1995; Makowski et al., 2002; Makowski and Lavielle, 2006).

Model alternatif adalah pendugaan parameter model respons pemupukan berdasarkan pada model parameter acak menggunakan model campuran. Pendekatan model campuran memungkinkan memasukkan pengaruh acak yang mewakili keragaman antar lokasi dan keheterogenan ragam serta korelasi yang mungkin terjadi antar pengamatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fungsi respons stokastik lebih baik daripada versi deterministik untuk penyusunan dosis optimum rekomendasi pemupukan (Makowski et al., 2001; Makowski et al., 2002; Tumusiime et al., 2011; Boyer et al., 2013).

Selain itu, fungsi kuadrat yang biasa digunakan tidak selalu menjadi model terbaik untuk menyesuaikan data pemupukan. Pada tipe model deterministik, Cerrato and Blackmer (1990) mendapatkan bahwa model kuadrat plateau lebih baik daripada model kuadrat bagi data pemupukan nitrogen pada tanaman jagung. Pada tipe model stokastik, Tumusiime et al. (2011) dan Park et al. (2012) mendapatkan bahwa fungsi respons linear plateau dan tipe eksponensial Mitscherlich lebih baik daripada fungsi kuadrat, sedangkan Boyer et al. (2013) menunjukkan bahwa model stokastik linear plateau lebih baik daripada model stokastik kuadrat plateau.

Penelitian ini bertujuan mengetahui model terbaik fungsi respons stokastik hasil kedelai terhadap pemupukan kalium.

2. METODOLOGI

2.1. Bahan

Penelitian ini menggunakan data percobaan multilokasi pemupukan K pada kedelai di Jawa dan Sumatera (Sutriadi dan Nursyamsi, 2002; Nursyamsi et al., 2004; Nursyamsi, 2006). Setiap percobaan terdiri dari lima taraf perlakuan pemupukan K. Takaran pupuk K yang dicobakan adalah 0, 20, 40, 80 dan 160 kg K/ha dari KCl. Respons yang diukur adalah berat biji kering kedelai (ton/ha). Rancangan yang digunakan adalah rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan.

2.2. Metode

Fungsi-fungsi respons yang digunakan untuk menggambarkan respons pemupukan K pada kedelai adalah linear plateau, Spillman-Mitscherlich, kuadrat, serta logistik.

Model stokastik respons linear plateau adalah sebagai berikut,

$$y_{il} = \min(\alpha + \beta F_{il}; \mu_y + v_l) + \mu_l + \varepsilon_{il} \quad (1)$$

dimana y_{il} adalah hasil kedelai pada plot ke- i lokasi ke- l ; F_{il} = taraf pemupukan K; α adalah parameter intersep; β = koefisien respons linear; μ_y = rata-rata hasil plateau; v_l = pengaruh acak plateau dari lokasi; μ_l = pengaruh acak *intercept* dari lokasi; dan ε_{il} = sisa acak.

Model stokastik respons eksponensial Spillman-Mitscherlich adalah sebagai berikut,

$$y_{il} = (\alpha + v_l) - \beta \exp(-\gamma F_{il}) + \mu_l + \varepsilon_{il} \quad (2)$$

dimana α adalah hasil potensial atau maksimum yang dapat dicapai dengan penambahan pupuk K pada kondisi percobaan; β = peningkatan hasil dengan penambahan pupuk K; γ = rasio penambahan output α terhadap output y ; v_l = pengaruh acak parameter α ; μ_l = pengaruh acak *intercept* dari lokasi; dan ε_{il} = sisa acak.

Model stokastik respons kuadrat adalah sebagai berikut,

$$y_{il} = \alpha + \beta F_{il} + (\gamma + v_l) F_{il}^2 + \mu_l + \varepsilon_{il} \quad (3)$$

dimana α adalah parameter intersep yang nilainya dapat naik atau turun dari lokasi ke lokasi karena pengaruh acak lokasi μ_l ; β = koefisien respons linear; γ = koefisien respons kuadrat dengan pengaruh acak v_l ; dan ε_{il} = sisa acak dan bebas yang menyebar normal.

Model stokastik respons logistik adalah sebagai berikut,

$$y_{il} = (\alpha + v_l) / [1 + \exp(\beta - \gamma F_{il})] + \mu_l + \varepsilon_{il} \quad (4)$$

dimana α adalah hasil maksimum tanaman, β adalah parameter intersep; γ = koefisien respons dengan penambahan pupuk K; v_l = pengaruh acak parameter α ; μ_l = pengaruh acak *intercept* dari lokasi; dan ε_{il} = sisa acak yang menyebar normal.

Jika model merupakan nonstokastik (M1), maka pengaruh acak v_i dan μ_i bernilai nol. Pada model stokastik pengaruh acak v_i dan μ_i dimasukkan secara sekuensial, yaitu model dengan pengaruh acak μ_i (M2) (Park et al., 2012) dan model dengan pengaruh acak μ_i dan v_i (M3) (Tembo et al., 2003; Tumusiime et al., 2011).

Model respons diduga menggunakan prosedur nonlinear campuran. Dengan asumsi normal, pemilihan model terbaik menggunakan kriteria *-2log-likelihood (-2LL)*, *Akaike Information Criterion (AIC)*, *Bayesian Information Criterion (BIC)* dan ragam sisaan. Semakin kecil nilai *-2LL*, *AIC*, dan *BIC* serta ragam sisaan suatu model, maka semakin baik penyuaian model tersebut terhadap data.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Dugaan parameter model

Dugaan parameter model linear plateau dengan pengaruh tetap dan pengaruh campuran dapat dilihat pada Tabel 1. Pada M2 keragaman antar lokasi dimodelkan dengan meragamkan koefisien intersep dari lokasi. Pada M3, keragaman antar lokasi dimodelkan dengan meragamkan koefisien intersep α dan parameter plateau μ_γ dari lokasi.

Terdapat perbedaan nilai dugaan parameter intersep α , koefisien respons linear β dan plateau μ_γ dari model parameter tetap M1 dengan model parameter acak M2 dan M3, walaupun ketiga parameter nyata pada taraf 1 persen. Pada M2 ragam sisaan diuraikan menjadi ragam dalam lokasi (σ^2_ϵ) dan ragam antar lokasi (σ^2_u). Ragam sisaan berkurang sekitar 75.63 persen pada M2 dibandingkan dengan M1 menunjukkan peningkatan ketepatan pendugaan parameter model. Nilai log-likelihood, AIC dan BIC dari model M2 lebih kecil daripada model M1 menunjukkan model M2 lebih baik menyuaikan data. Pada M3, ragam antar lokasi diuraikan menjadi ragam intersep (σ^2_u) dan ragam plateau (σ^2_v) dan peragam antar keduanya (σ_{uv}). Ragam sisaan pada M3 berkurang sekitar 89.92 dan 58.62 persen dibandingkan dengan M1 dan M2 masing-masing. Pada M3, nampaknya proporsi keragaman antar lokasi lebih banyak diterangkan oleh keragaman intersep lokasi (σ^2_u) daripada keragaman plateau (σ^2_v), walaupun keragaman plateau (σ^2_v) juga nyata pada taraf 5 persen. Peragam antar kedua pengaruh acak relatif kecil. Berdasarkan kriteria penyuaian model, linear plateau stokastik M3 merupakan model terbaik dibandingkan dengan model campuran M2 dan model tetap M1.

Tabel 1. Dugaan parameter model Linear plateau

Parameter	Model tetap (M1)	Model acak 1 (M2)	Model acak 2 (M3)
α	1.407**	0.424**	1.392**
β	0.011**	0.014**	0.030**
μ_γ	1.836**	0.868**	1.804**
σ^2_ϵ	0.00119**	0.00029**	0.00012**
σ^2_u	-	0.0027**	0.0014*
σ^2_v	-	-	0.00088*
σ_{uv}	-	-	3.11E-8
-2 LL	60.6	46.3	-31.9
AIC	68.6	56.3	-19.9
BIC	78.3	60.5	-14.9

* nyata pada taraf 5 persen, ** nyata pada taraf 1 persen

M1 = model tetap, M2= model dengan 1 pengaruh acak, M3= model dengan 2 pengaruh acak

Dugaan parameter model Spillman-Mitscherlich dengan pengaruh tetap dan pengaruh campuran dapat dilihat pada Tabel 2. Pada M2 keragaman antar lokasi dimodelkan dengan meragamkan intersep dari lokasi. Pada M3, keragaman antar lokasi dimodelkan dengan meragamkan intersep dan parameter hasil potensial maksimum α dari lokasi.

Nilai dugaan parameter β dan γ dari model parameter tetap M1 dan model parameter acak M2 dan M3 relatif sama, namun parameter γ dari model tetap M1 tidak nyata ($P=0.0601$). Nilai dugaan parameter hasil potensial maksimum α berbeda antar ketiga model. Pada M2 ragam sisaan berkurang sekitar 73.11 persen dibandingkan dengan M1 menunjukkan peningkatan ketepatan pendugaan parameter model. Nilai log-likelihood, AIC dan BIC dari model M2 lebih kecil daripada model M1 menunjukkan model M2 lebih baik menyuaikan data. Ragam sisaan

pada M3 berkurang sekitar 78.15 dan 18.75 persen dibandingkan dengan M1 dan M2 masing-masing. Pada M3, proporsi keragaman antar lokasi lebih banyak diterangkan oleh keragaman intersep lokasi (σ^2_u) daripada keragaman hasil maksimum (σ^2_v). Keragaman hasil maksimum (σ^2_v) tidak nyata. Peragam antar kedua pengaruh acak relatif kecil. Kriteria penyuaian model menunjukkan bahwa Spillman-Mitscherlich stokastik M2 merupakan model terbaik dibandingkan dengan model campuran M3 dan model tetap M1.

Tabel 2. Dugaan parameter model Spillman-Mitscherlich

Parameter	Model tetap (M1)	Model acak 1 (M2)	Model acak 2 (M3)
A	1.846**	1.982**	0.441**
β	0.464**	0.464**	0.464**
γ	0.052	0.052**	0.052**
σ^2_ϵ	0.00119**	0.00032**	0.00026**
σ^2_u	-	0.013**	0.013**
σ^2_v	-	-	0.00006
σ_{uv}	-	-	1.67E-11
-2 LL	60.3	-4.9	16.1
AIC	68.3	5.1	28.1
BIC	78.0	9.2	33.1

* nyata pada taraf 5 persen, ** nyata pada taraf 1 persen

Dugaan parameter model kuadratik dengan pengaruh tetap dan pengaruh campuran dapat dilihat pada Tabel 3. Pada M2 keragaman antar lokasi dimodelkan dengan meragamkan intersep dari lokasi. Pada M3, keragaman antar lokasi dimodelkan dengan meragamkan intersep α dan parameter respons kuadratik γ dari lokasi.

Nilai dugaan parameter intersep α , respons linear β dan kuadratik γ dari model parameter tetap M1 dan model parameter acak M2 relatif sama. Pada M2 ragam sisaan berkurang sekitar 75.41 persen dibandingkan dengan M1 menunjukkan peningkatan ketepatan pendugaan parameter model. Nilai log-likelihood, AIC dan BIC dari model M2 lebih kecil daripada model M1 menunjukkan model M2 lebih baik menyuaikan data. Model parameter acak M3 tidak dapat diterapkan atau tidak konvergen. Dengan demikian model kuadratik stokastik M2 merupakan model terbaik dibandingkan dengan model campuran M3 dan model tetap M1.

Tabel 3. Dugaan parameter model kuadratik

Parameter	Model tetap (M1)	Model acak 1 (M2)
α	1.446**	1.446**
β	0.0091**	0.0091**
γ	-0.00004**	-0.00004**
σ^2_ϵ	0.00122**	0.00030**
σ^2_u	-	0.00092*
σ^2_v	-	-
σ_{uv}	-	-
-2 LL	62.6	-8.4
AIC	70.6	1.6
BIC	80.4	5.8

* nyata pada taraf 5 persen, ** nyata pada taraf 1 persen

Dugaan parameter model logistik dengan pengaruh tetap dan pengaruh campuran dapat dilihat pada Tabel 4. Pada M2 keragaman antar lokasi dimodelkan dengan meragamkan intersep dari lokasi. Pada M3, keragaman antar lokasi dimodelkan dengan meragamkan parameter intersep β dan koefisien respons kalium γ dari lokasi.

Terdapat perbedaan nilai dugaan parameter hasil maksimum α , koefisien intersep β dan respons pupuk γ dari model parameter tetap M1 dengan model parameter acak M2 dan M3. Pada M2 ragam sisaan berkurang sekitar 73.11 persen dibandingkan dengan M1 menunjukkan peningkatan ketepatan pendugaan parameter model. Nilai log-likelihood, AIC dan BIC dari model M2 lebih kecil daripada model M1 menunjukkan model M2 lebih baik menyuaikan data. Ragam sisaan pada M3 berkurang sekitar 74.79 dan 6.25 persen dibandingkan dengan M1 dan

M2 masing-masing. Pada M3, proporsi keragaman antar lokasi lebih banyak diterangkan oleh keragaman intersep lokasi (σ^2_u) daripada keragaman hasil maksimum (σ^2_v). Keragaman hasil maksimum (σ^2_v) tidak nyata. Peragam antar kedua pengaruh acak relatif kecil. Nilai kriteria penyuaian model menunjukkan logistik stokastik M2 merupakan model terbaik dibandingkan dengan model campuran M3 dan model tetap M1.

Tabel 4. Dugaan parameter model logistik

Parameter	Model tetap (M1)	Model acak 1 (M2)	Model acak 2 (M3)
α	1.844**	0.444**	0.459**
β	-1.095**	4.516	3.159
γ	0.0612*	0.253	0.187
σ^2_ε	0.00119**	0.00032**	0.00030**
σ^2_u	-	0.0183**	0.012**
σ^2_v	-	-	0.00003
σ_{uv}	-	-	-1.56E-8
-2 LL	60.2	18.4	20.0
AIC	68.2	28.4	32.0
BIC	78.0	32.6	37.0

* nyata pada taraf 5 persen, ** nyata pada taraf 1 persen

3.2. Perbandingan model terbaik

Nilai log-likelihood, AIC dan BIC dari semua model tetap M1 dan model campuran M2 dan M3 yang disesuaikan terhadap data dapat dilihat pada Tabel 5. Pada model tetap M1 nilai log-likelihood, AIC dan BIC secara berurutan adalah logistik < Spillman-Mitscherlich < linear plateau < kuadratik menunjukkan bahwa model tetap M1 terbaik adalah logistik. Pada model campuran M2 nilai log-likelihood, AIC dan BIC secara berurutan adalah kuadratik < Spillman-Mitscherlich < logistik < linear plateau yang berarti model kuadratik merupakan model campuran M2 terbaik. Adapun pada model campuran M3 nilai log-likelihood, AIC dan BIC secara berurutan adalah linear plateau < Spillman-Mitscherlich < logistik, sehingga model linear plateau merupakan model campuran M3 terbaik.

Nilai *log-likelihood*, AIC, dan BIC model campuran M2 dan M3 lebih kecil dari model tetap M1 pada semua fungsi respons, menunjukkan bahwa model campuran lebih baik menyesuaikan data daripada model tetap (Tabel 5). Hal ini disebabkan karena pada model campuran penguraian ragam-peragam yang berasosiasi dengan pengaruh acak memungkinkan pemisahan keragaman antar lokasi dari keragaman dalam lokasi. Namun demikian model campuran dengan jumlah pengaruh acak lebih banyak (M3) tidak selalu lebih baik daripada model campuran M2. Berdasarkan kriteria penyuaian model, linear plateau stokastik dengan dua pengaruh acak (M3) merupakan model terbaik bagi respons hasil kedelai terhadap pemupukan kalium.

Tabel 5. Nilai *log-likelihood*, AIC, dan BIC model tetap dan campuran

Model	Model tetap (M1)			Model acak 1 (M2)			Model acak 2 (M3)		
	-2LL	AIC	BIC	-2LL	AIC	BIC	-2LL	AIC	BIC
LP	60.6	68.6	78.3	46.3	56.3	60.5	-31.9	-19.9	-14.9
SM	60.3	68.3	78.0	-4.9	5.1	9.2	16.1	28.1	33.1
Q	62.6	70.6	80.4	-8.4	1.6	5.8	-	-	-
LOG	60.2	68.2	78.0	18.4	28.4	32.6	20.0	32.0	37.0

LP = linear plateau; SM = Spillman-Mitscherlich; Q = quadratic; LOG = logistic

4. KESIMPULAN

Model respons stokastik lebih akurat menduga parameter model daripada model respons deterministik. Model terbaik bagi respons hasil kedelai terhadap pemupukan kalium untuk rekomendasi pemupukan wilayah adalah model linear plateau stokastik dengan pengaruh acak intersep dan plateau.

DAFTAR PUSTAKA

- Boyer, C.N., Larson J.A, Roberts R.K, McClure A.T, Tyler D.D, and Zhou V. (2013). Stochastic corn yield response functions to nitrogen for corn after corn, corn after cotton, and corn after soybeans. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 45,4:669-681.
- Cerrato M.E, Blackmer A.M. (1990). Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal* 82:138-143.
- Makowski D, Wallach D. (2002). It pays to base parameter estimation on a realistic description of model errors. *Agronomie* 22:179-89.
- Makowski D, Lavielle M. (2006). Using SAEM to estimate parameters of response to applied fertilizer. *Journal of Agricultural , Biological, and Environmental Statistics* 11:45-60.
- Makowski D, Wallach D, Meynard J.M. (2001). Statistical methods for predicting the responses to applied N and for calculating optimal N rates. *Agronomy Journal* 93 :531-539.
- Nursyamsi D, Sutriadi M.T, dan Kurnia U. (2004). Penentuan kebutuhan pupuk Kalium untuk Kedelai pada Typic Kandiuoxs Berdasarkan Prosedur uji tanah. *Jurnal Tanah Tropika* Vol 10 (1) p: 1-9.
- Nursyamsi, D. (2006). Kebutuhan Hara Kalium Tanaman Kedelai di Tanah Ultisols. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* Vol 6 (2) p: 71-81.
- Park S.C, Brorsen B.W, Stoecker A.L, and Hattey J.A. (2012). Forage response to swine effluent: a Cox nonnested test of alternative functional forms using a fast double bootstrap. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 44,4:593-606.
- Sutriadi M.T, dan Nursyamsi D. (2002). Pemilihan Metode Ekstraksi Hara K di Ultisols, Inceptisols, dan Vertisols untuk Kedelai. *Prosiding Semnas Sumberdaya Lahan*. Puslitbang Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Tembo G., Brorsen B.W., and Epplin F.M. (2003). Linear Response Stochastic Plateau Functions. *Selected Paper prepared for presentation at the Southern Agricultural Economics Association annual meetings*, Mobile, Alabama, February 2-5, 2003.
- Tumusiime E, Brorsen B.W, Mosali J, Johnson J, Locke J, Biermacher J.T. (2011). Determining optimal levels of nitrogen fertilizer using random parameter models. *Journal of Agricultural and Applied Economics* 43(4) :541-552.
- Wallach D. 1995. Regional optimization of fertilization using a hierarchical linear model. *Biometrics* 51 : 338-346.