

# ANALISIS EFISIENSI LINGKUNGAN DENGAN SATU PEUBAH DETRIMENTAL INPUT MELALUI PENDEKATAN STOCHASTIC FRONTIER ANALYSIS (Studi Kasus Usaha Tani Bawang Merah)

## *Environmental Efficiency Analysis with one Detrimental Input Variable through A Stochastic Frontier Analysis Approach (A Case Study of Shallot Farming System)*

Budi Waryanto<sup>1</sup>, Indahwati<sup>2</sup>, dan Aprilia Sufiati Safitri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian, Jl. Harsono RM 3 Gd D Lt 4, Ragunan, Jakarta Selatan

<sup>2</sup>Departemen Statistika, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor 16880

Telp. (021) 7822638

E-mail: budi\_w@pertanian.go.id

(Makalah diterima, 14 April 2015 – Disetujui, 4 Desember 2015)

### ABSTRAK

Pertanian berkelanjutan memiliki kompleksitas yang tinggi, terutama terkait dengan penggunaan input produksi yang berpotensi merugikan lingkungan atau sering disebut *detrimental input*. Untuk mewujudkan pertanian berkelanjutan, penggunaan input harus dapat diukur tingkat efisiensinya, khususnya dari aspek lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis efisiensi lingkungan (*EEnv*) dengan menyertakan satu peubah *detrimental input surplus nitrogen* pada usaha tani bawang merah melalui pendekatan *Stochastic Frontier Analysis* (SFA). Pada tahap awal telah dibangun model regresi *stochastic frontier translog* yang terdiri atas satu peubah respon, yaitu produksi bawang merah, lima peubah bebas yaitu lahan, bibit, pupuk P, pupuk K, tenaga kerja dan pestisida, serta satu peubah bebas detrimental input, yaitu *surplus nitrogen*. Model regresi *stochastic frontier translog* dapat menjelaskan interaksi antarbeberapa peubah bebas yang berpengaruh terhadap produksi bawang merah. Beberapa interaksi yang berpengaruh nyata yaitu bibit dan pestisida, pupuk P dengan *surplus nitrogen*, dan pupuk K dengan *surplus nitrogen*. Dari model regresi diketahui elastisitas peubah bebas bibit merupakan yang tertinggi yaitu 0,1687. Selanjutnya model *stochastic frontier translog* menunjukkan nilai *EEnv* yang masih rendah, yaitu 0,2765. Hal ini dapat diartikan bahwa petani bawang merah belum efisien dari aspek lingkungan, khususnya dalam penggunaan pupuk *nitrogen*, walaupun telah mencapai tingkat efisiensi teknis (ET) dengan nilai ET 0,9475.

**Kata kunci:** *detrimental input*, efisiensi lingkungan, efisiensi Teknis, bawang merah

### ABSTRACT

*Sustainable agriculture* having high complexity, especially related to the choice of using inputs that could potentially harm the environment or often called a *detrimental input*. In order to realize sustainable agriculture, the level of efficiency of the use of these inputs must be able to measure, especially from the aspect of environmental efficiency. The objective of this research is to analyze the environmental efficiency (*EEnv*) with a detrimental input variable namely the Nitrogen surplus in shallot farming through approach *Stochastic Frontier Analysis* (SFA). At the initial stage has been built *translog stochastic frontier regression model* consisting of the response variable namely the production of onion, five independent variables, namely land, seed, Phospor fertilizer, Kalium fertilizer, labor and pesticides, as well as one independent variable is a surplus of nitrogen as a detrimental input. *Stochastic frontier translog regression models* were built to explain some of the interactions between several independent variables affect the production of shallot. Some interactions are significant, namely seeds and pesticides, fertilizer P with a surplus of nitrogen, and the interaction between K fertilizer with nitrogen surplus. From the regression model can also be calculated value of elasticity, where the elasticity of independent variables namely seed is the highest, equal to 0.1687. Furthermore *stochastic frontier translog model* can be calculated value *EEnv*, the results show the value of *EEnv* still low at only at 0.2765. This may imply inefficient shallot farmers from the aspects of the environment, especially if associated with the use of nitrogen fertilizer. Although technically shallot farmers have achieved a level of technical efficiency (ET), which is indicated on the ET value of 0.9475.

**Key words:** *detrimental input*, environmental efficiency, technical efficiency, shallot

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Konsep universal pertanian berkelanjutan telah dipahami memiliki kompleksitas yang tinggi (CBD, 2010). Pertanian berkelanjutan yang dimaksud adalah pengelolaan konservasi sumberdaya alam yang berorientasi pada perubahan teknologi dan kelembagaan yang dilakukan sedemikian rupa untuk menjamin pemenuhan dan pemuasan kebutuhan generasi sekarang dan mendatang secara berkelanjutan (Reinhard, 1999). Salah satu di antara kompleksitas untuk mewujudkan pertanian berkelanjutan adalah keputusan petani dalam menggunakan input produksi, khususnya input kimia sintesis (Rigby dan Daniel, 1997). Input produksi yang digunakan pada usaha pertanian yang masuk katagori input kimia sintesis meliputi pupuk anorganik, pestisida dan sebagainya. Penggunaan input tersebut dapat mewujudkan pertanian berkelanjutan jika digunakan sesuai kebutuhan.

Penggunaan input produksi seperti pupuk anorganik diyakini sangat dibutuhkan tanaman guna mengganti unsur hara yang hilang dan menambah persediaan unsur hara untuk meningkatkan produksi (Dewanto *et al.*, 2013). Namun penggunaan pupuk anorganik oleh petani cenderung berlebihan (Widodo, 2008), sehingga berpotensi mengganggu lingkungan. Oleh karena itu, guna mewujudkan pertanian berkelanjutan dibutuhkan analisis untuk mengukur tingkat efisiensi.

Efisiensi usaha pertanian dapat berupa efisiensi teknis (ET), efisiensi ekonomis (EE) dan efisiensi lingkungan (*EEnv*) (Mkhabella, 2011). Terkait dengan efisiensi, Graham (2004) menegaskan, dua komponen utama dalam teori efisiensi produktif yaitu efisiensi teknis dan alokatif. Efisiensi teknis berfokus pada output yang dihasilkan dari besaran input dan teknologi yang diberikan, sedangkan efisiensi alokatif berfokus pada kemampuan dan kemauan dari unit ekonomi untuk meminimalkan biaya produksi dari harga input melalui substitusi atau realokasi input. Berdasarkan perhitungan kedua efisiensi tersebut dapat dihitung efisiensi relatif (efisiensi ekonomis) antarunit, sehingga sumber masalah dapat diidentifikasi dan kebijakan yang tepat dapat dikembangkan.

Efisiensi lingkungan merupakan jenis efisiensi tambahan (Reinhard *et al.*, 1999). Input yang digunakan dalam proses produksi dapat memiliki dampak positif atau negatif pada lingkungan, sehingga perlu pengukuran efisiensi lingkungan. Pengukuran efisiensi lingkungan bertujuan untuk mempertimbangkan dampak penggunaan input yang berpotensi mempengaruhi lingkungan pada

satuan unit ekonomi sesuai dengan tingkat efisiensinya. Dari perhitungan efisiensi, selanjutnya dapat dibuat kebijakan untuk meningkatkan kinerja lingkungan usaha pertanian dan dampak berbagai karakteristik efisiensi lingkungan dapat diidentifikasi (Graham, 2004).

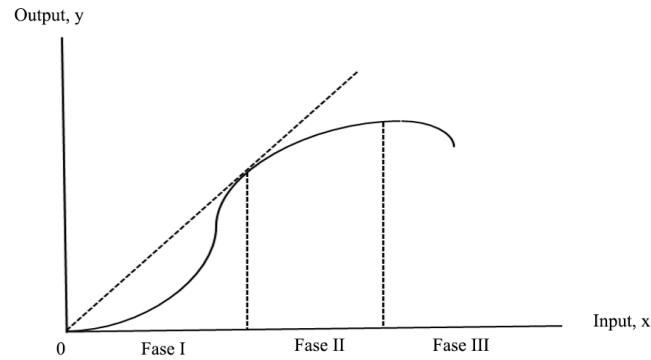
Pengukuran efisiensi pada usaha pertanian dapat dilakukan melalui pendekatan *Stochastic Frontier Analysis (SFA)*, diantaranya menggunakan fungsi produksi *Cobb-Douglas* atau fungsi produksi *stochastic frontier translog*. Fungsi produksi *stochastic frontier Cobb-Douglas* memiliki keterbatasan, salah satunya tidak memasukkan kontribusi interaksi antarfaktor, Dalam fungsi produksi *stochastic frontier translog*, kontribusi interaksi antarfaktor diperhitungkan (Mkhabella, 2011). Selain itu, fungsi produksi *stochastic frontier translog* dapat dijadikan dasar dalam menghitung efisiensi lingkungan (*EEnv*). Penelitian menggunakan *stochastic frontier translog* untuk mengukur tingkat efisiensi lingkungan telah dilakukan oleh beberapa peneliti, diantaranya Reinhard (1999) dan Mkhabela (2011) dalam bidang peternakan, serta Guo dan Marchand (2012) dalam bidang pertanian padi organik di China.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perlu dilakukan analisis efisiensi lingkungan menggunakan satu peubah *detrimental input nitrogen* pada usaha pertanian bawang merah di Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur. Pupuk *nitrogen* merupakan salah satu komponen yang diduga dapat mencemari lingkungan jika penggunaannya tidak tepat. Masalah lingkungan yang disebabkan oleh *nitrogen* antara lain adalah eutrofikasi permukaan air yang dapat membahayakan tumbuhan dan hewan. Pelepasan nitrat ke molekul air di dalam tanah akan mencemari air untuk minum ternak dan penguapan amonia yang menyebabkan hujan asam (Reinhard, 1999).

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis efisiensi lingkungan (*EEnv*) menggunakan metode analisis *stochastic frontier translog*. Melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh informasi tentang keberlanjutan usaha tani bawang merah, khususnya dari aspek lingkungan.

### Landasan Teori

Secara umum produksi usaha tani ditentukan oleh faktor produksi, seperti tanah, tenaga kerja, modal, dan manajemen. Hubungan teknis antara *input* dan *output* dapat dinyatakan dalam bentuk fungsi produksi atau fungsi produksi menerangkan hubungan teknis yang mentransformasi input atau sumberdaya menjadi output. Bentuk umum fungsi produksi dapat dinyatakan pada persamaan (1) (Agung *et al.*, 2008), dan bentuk grafis fungsi produksi dapat dilihat pada Gambar 1 (Mkhabella, 2011):



Gambar 1. Tiga fase produksi

$$Q = F(X_1, X_2, \dots, X_k) \dots \dots \dots (1)$$

Q adalah output yang merupakan fungsi dari k-buah input  $X_i > 0, i = 1, 2, \dots, k$ .

Fungsi produksi translog merupakan salah satu contoh fungsi produksi. Secara matematis, fungsi produksi translog dituliskan sebagai berikut (Agung et al., 2008; Mkhabella, 2011):

$$\ln Y_i = \beta_0 + \sum \beta_j \ln(X_{ij}) + 0.5 \sum_j \sum_k \beta_{jk} \ln(X_{ij}) \ln(X_{ik}) + \varepsilon \dots \dots \dots (2)$$

Pada fungsi produksi translog, interaksi antarfaktor produksi diperhitungkan pengaruhnya terhadap produksi. Interaksi ini berfungsi untuk melihat pengaruh secara bersama-sama antar faktor produksi terhadap tingkat produksi.

Pendekatan *Stochastic Frontier Analysis (SFA)* dapat digunakan untuk menghitung efisiensi. Petani dikatakan efisien jika tingkat produksi lebih tinggi dari batas produksi terbaiknya. Fungsi SFA memiliki ciri peubah acak tak negatif ( $u_i$ ) untuk menangkap faktor inefisiensi, seperti tingkat pendidikan petani, usia petani, dan lama menjadi petani, sehingga bentuk umum SFA dengan satu peubah input dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Y_i = F(X_i; \beta) * \exp \{ V_i - U_i \} \dots \dots \dots (3)$$

$Y_i$  adalah tingkat produksi (output),  $X_i$  adalah peubah input yang digunakan,  $\beta$  adalah parameter yang akan diduga.  $V_i$  adalah kesalahan acak sisaan/error yang dimaksudkan untuk menangkap peristiwa di luar kendali petani, seperti faktor eksternal (iklim, hama) menyebar normal ( $V_i \sim N(0, \sigma_v^2)$ ) (Reinhard, 1999).  $U_i$  merupakan peubah acak tak negatif, nilainya 0 sampai 1, mempengaruhi tingkat inefisiensi dan berkaitan dengan faktor internal, diasumsikan menyebar setengah normal ( $U_i \sim |N(U, \sigma_u^2)|$ ) dan dimodelkan melalui persamaan berikut (Battese dan Coelli, 1993):

$$U_i = Z_i \delta + W_i \dots \dots \dots (4)$$

$Z_i$  adalah peubah kemampuan managerial petani yang mempengaruhi efisiensi teknis, seperti tingkat pendidikan, umur dan lainnya, sedangkan  $W_i$  peubah acak yang diasumsikan menyebar normal dengan rata-rata 0 dan ragam.

Reinhard (1999) menerapkan SFA dengan menambahkan satu peubah yang dinilai dapat merusak lingkungan/detrimental input dengan tujuan untuk mendapatkan nilai dari efisiensi lingkungan. Peubah tersebut adalah *surplus nitrogen*. Bentuk umum SFA dalam Reinhard (1999) dituliskan sebagai berikut:

$$Y_i = F(X_i; Z_i; \beta) * \exp \{ V_i - U_i \} \dots \dots \dots (5)$$

Persamaan (5) sama dengan persamaan (3), kecuali ada pembeda faktor  $Z_i$ , merupakan peubah input yang dinilai dapat merusak lingkungan (dalam penelitian ini digunakan peubah *surplus nitrogen*). Fungsi produksi *stochastic frontier translog* secara lengkap dinyatakan sebagai berikut (Reinhard, 1999):

$$\ln Y_i = \beta_0 + \sum_j \beta_j \ln(X_{ij}) + \beta_z \ln(Z_i) + 0.5 \sum_j \sum_k \beta_{jk} \ln(X_{ij}) \ln(X_{ik}) + \sum_j \beta_{jz} \ln(X_{ij}) \ln(Z_i) + 0.5 \beta_{zz} (\ln Z_i)^2 + v_i - u_i \dots (6)$$

dimana  $i = 1, \dots, n$  adalah petani ke-1 sampai petani ke-n,  $j, k = 1, 2, \dots, p$  adalah peubah input yang digunakan,  $\ln(Y_i)$  adalah logaritma dari output petani ke i,  $\ln(X_{ij})$  adalah logaritma dari peubah input ke-j yang digunakan petani ke-i,  $\ln(Z_i)$  adalah logaritma dari peubah input yang dinilai dapat merusak lingkungan (*surplus nitrogen*) oleh petani ke-I dan  $\beta_j, \beta_z, \beta_{jk}, \beta_{jz}, \beta_{zz}$  adalah paramater yang akan diduga. Adapun  $v_i$  dan  $u_i$  telah dijelaskan sesuai persamaan (3).

Dari fungsi produksi *stochastic frontier translog*, selanjutnya dihitung nilai efisiensi teknis (ET) dan efisiensi lingkungan (*EEnv*). Perhitungan ET secara umum dirumuskan sebagai berikut:

$$ET_i = Y_{it} / [F(X_{it}, Z_{it}, \beta)] \cdot \exp\{V_{it}\} = \exp\{-U_{it}\} \dots\dots\dots(7)$$

nilai  $ET_i$  antara 0 dan 1, diperoleh langsung dari program *Frontier 4.1.* (Coelli, 1996). Jika nilai  $ET$  merupakan hasil langsung dari program *Frontier 4.1.*, sebaliknya perhitungan  $EEnv$  harus dilakukan secara manual dengan bantuan *Excell*. Perhitungan  $EEnv$  secara umum dapat diperoleh berdasarkan rumus (Mkhabela, 2011; Reinhard, 1999; Guo dan Marchand, 2012):

$$\ln EEnv_i = [-(\beta_z + \sum \beta_{jz} \ln X_{ij} + \beta_{zz} \ln Z_i) \pm \{(\beta_z + \sum \beta_{jz} \ln X_{ij} + \beta_{zz} \ln Z_i)^2 - 2\beta_{zz} U_{ij}^{0.5}\} / \beta_{zz} \dots\dots\dots(8)$$

$\ln EEnv_i$  adalah efisiensi lingkungan petani ke- $i$ ,  $X_{ij}$  adalah peubah input  $j$  dari petani ke- $i$ ,  $Z_i$  adalah *surplus nitrogen* pada petani ke- $i$ ,  $U_i$  adalah faktor inefisiensi, dan  $\beta_z, \beta_{jz}, \beta_{zz}$  adalah hasil dugaan parameter yang diperoleh dari regresi *stochastic frontier translog*.

Pada penelitian ini tingkat efisiensi lingkungan dihitung dengan memasukkan *surplus nitrogen* sebagai peubah *detrimental input*. Beberapa penelitian memperlihatkan penggunaan *nitrogen* secara berlebihan mempengaruhi kualitas lingkungan. Salah satu kasus adalah petani sayuran di Buntu Kejajar Wonosobo yang melakukan pemupukan *nitrogen* hingga lebih dari 500 kg setiap musim. Jumlah tersebut sangat berlebihan karena total serapan *nitrogen* tanaman adalah sekitar 150 hingga 250 kg N/ha, sehingga terdapat kelebihan *nitrogen* di lahan pertanian atau disebut sebagai *surplus nitrogen* yang berpotensi mencemari lingkungan (Ladiyani *et al.*, 2007).

**BAHAN DAN METODE**

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer yang berasal dari hasil survei petani bawang merah di Nganjuk, Jawa Timur, menggunakan metode wawancara dengan kuesioner. Survei dilakukan pada bulan November sampai Desember 2013, dengan memotret data pertanaman bawang merah pada musim kemarau atau Mei sampai Juli 2013. Responden terdiri atas 192 petani yang mengusahakan bawang merah. Peubah yang diamati terdiri atas enam peubah bebas (X) dan satu peubah *detrimental input* (Z). Peubah Z atau *surplus nitrogen* didefinisikan sebagai selisih antara penggunaan pupuk *nitrogen* riil dengan anjuran penggunaan pupuk *nitrogen*. Dosis anjuran pupuk *nitrogen* untuk menanam bawang merah yang dijadikan acuan perhitungan *surplus nitrogen* adalah 200 kg/ha (Sumarni dan Achmad, 2005; Dewi, 2012). Peubah yang digunakan pada penelitian ini meliputi:

- X<sub>1</sub> : Luas lahan (m<sup>2</sup>)
- X<sub>2</sub> : Bibit (kg)
- X<sub>3</sub> : Pupuk P (P kg/luas lahan)

- X<sub>4</sub> : Pupuk K (K kg/luas lahan)
- X<sub>5</sub> : Pestisida (ml/luas lahan)
- X<sub>6</sub> : Tenaga kerja (hari kerja setara pria)
- Z : Surplus Nitrogen (kg/ha)
- Y : Hasil bawang merah (kg/luas lahan).

Tahapan yang dilakukan dalam analisis adalah:

1. Eksplorasi data dan pemeriksaan asumsi, yaitu asumsi kenormalan, kehomogenan ragam, multikolinearitas dan autokorelasi (Draper dan Smith, 1992).
2. Parameter faktor produksi ( $\beta_j$ ) dan intersep ( $\beta_0$ ), serta faktor produksi yang berpengaruh terhadap hasil bawang merah. Hasil dugaan diperoleh dengan metode pendugaan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) berdasarkan model fungsi produksi translog pada persamaan (6) dan diperoleh persamaan operasional sebagai berikut:

$$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 \ln X_3 + \beta_4 \ln X_4 + \beta_5 \ln X_5 + \beta_6 \ln X_6 + \beta_z \ln Z + \beta_{11} 0.5 * (\ln X_1)^2 + \beta_{22} 0.5 * (\ln X_2)^2 + \beta_{33} 0.5 * (\ln X_3)^2 + \beta_{44} 0.5 * (\ln X_4)^2 + \beta_{55} 0.5 * (\ln X_5)^2 + \beta_{66} 0.5 * (\ln X_6)^2 + \beta_{zz} 0.5 * (\ln Z)^2 + \beta_{12} 0.5 * (\ln X_1 \ln X_2) + \beta_{13} 0.5 * (\ln X_1 \ln X_3) + \beta_{14} 0.5 * (\ln X_1 \ln X_4) + \beta_{15} 0.5 * (\ln X_1 \ln X_5) + \beta_{16} 0.5 * (\ln X_1 \ln X_6) + \beta_{1z} (\ln X_1 \ln Z) + \beta_{23} 0.5 * (\ln X_2 \ln X_3) + \beta_{24} 0.5 * (\ln X_2 \ln X_4) + \beta_{25} 0.5 * (\ln X_2 \ln X_5) + \beta_{26} 0.5 * (\ln X_2 \ln X_6) + \beta_{2z} (\ln X_2 \ln Z) + \beta_{34} 0.5 * (\ln X_3 \ln X_4) + \beta_{35} 0.5 * (\ln X_3 \ln X_5) + \beta_{36} 0.5 * (\ln X_3 \ln X_6) + \beta_{3z} (\ln X_3 \ln Z) + \beta_{45} 0.5 * (\ln X_4 \ln X_5) + \beta_{46} 0.5 * (\ln X_4 \ln X_6) + \beta_{4z} (\ln X_4 \ln Z) + \beta_{56} 0.5 * (\ln X_5 \ln X_6) + \beta_{5z} (\ln X_5 \ln Z) + \beta_{6z} (\ln X_6 \ln Z) + v_i - u_i \dots\dots\dots(9)$$

3. Menghitung nilai elastisitas faktor produksi dengan rumus (Guo dan Marchand, 2012) berikut:

$$\frac{\delta \ln Y}{\delta X_j} = \beta_j / + \beta_{jj} \ln X_j + \sum_{j \neq k}^k \beta_{jk} \ln X_k \dots\dots\dots(10)$$

4. Menggunakan persamaan (9) untuk mencari nilai  $EEnv$  sebagai berikut:

$$\ln EEnv_i = [-(\beta_z + \beta_{1z} \ln X_1 + \beta_{2z} \ln X_2 + \beta_{3z} \ln X_3 + \beta_{4z} \ln X_4 + \beta_{5z} \ln X_5 + \beta_{6z} \ln X_6 + \beta_{zz} \ln Z) - \{(\beta_z + \beta_{1z} \ln X_1 + \beta_{2z} \ln X_2 + \beta_{3z} \ln X_3 + \beta_{4z} \ln X_4 + \beta_{5z} \ln X_5 + \beta_{6z} \ln X_6 + \beta_{zz} \ln Z)^2 - 2*\beta_{zz}*U_{ij}^{0.5}\} / \beta_{zz} \dots\dots\dots(11)$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Perhitungan Surplus Nitrogen**

Dosis anjuran pupuk *nitrogen* yang digunakan untuk tanaman bawang merah menurut Dewi (2012) adalah 200 kg/ha, sedangkan menurut Sumarni dan Achmad

(2005) 150-200 kg/ha. Berdasarkan anjuran tersebut ditetapkan dasar untuk menghitung *surplus nitrogen* 200 kg/ha. Perhitungan surplus Nitrogen pada penelitian ini dilakukan dengan mengurangi dosis riil yang digunakan petani yang dikonversi terlebih dahulu ke dalam satuan kg/ha dengan dosis anjuran 200 kg/ha. Berdasarkan hasil perhitungan terdapat 106 orang atau 55,21% petani yang mengalami *surplus nitrogen*. Sisanya 86 orang atau 44,79% petani tidak mengalami *surplus nitrogen*, sehingga hanya 106 petani yang dianalisis tingkat efisiensi lingkungannya.

### Deskripsi Data

Analisis deskriptif dilakukan terhadap peubah respon dan tujuh peubah penjelas. Ringkasan analisis deskriptif dapat dilihat pada Lampiran 1. Rata-rata produksi bawang merah 3,39 ton dengan luas rata-rata 0,23 hektar atau dari 1 hektar lahan, petani rata-rata mendapatkan produksi bawang merah 14,74 ton. *Input* produksi pada rata-rata 0,23 hektar adalah sebagai berikut: penggunaan bibit 264,33 kg, pupuk P 60,5 kg, pupuk K 80,73 kg, pestisida 3,9 liter, penggunaan tenaga kerja 32 HKSP dan *surplus nitrogen* 72,07 kg/ha. Keragaman produksi dan penguasaan lahan cukup tinggi, sedangkan keragaman terendah terdapat pada penggunaan tenaga kerja.

Rata-rata *surplus nitrogen* dari 106 petani bawang merah adalah 72,07 kg/ha atau terjadi surplus sekitar 64% dari dosis yang dianjurkan (200 kg/ha). Kelebihan atau *surplus nitrogen* ini cukup besar, sehingga berpotensi mengganggu lingkungan.

### Pengujian Asumsi

Pengujian asumsi meliputi uji normalitas, kehomogenan ragam, kebebasan sisaan dan multikolinearitas. Taraf nyata yang digunakan adalah 5%. Pengujian asumsi kenormalan dilakukan dengan uji *Kolmogorov-Smirnov*.

Hasil pengujian asumsi kenormalan untuk data awal menghasilkan *p-value* lebih kecil dari taraf nyata yang digunakan, sehingga dilakukan transformasi terhadap nilai  $Y$ . Setelah dilakukan transformasi  $\sqrt{Y}$ , dihasilkan *p-value* yang lebih besar dari taraf nyata yang digunakan yaitu 0,059, sehingga sisaan menyebar normal.

Pengujian asumsi kehomogenan ragam dilakukan dengan uji formal *Glejser* dan didapatkan *p-value* 0,307, sehingga sisaan bersifat homogen. Uji formal *Runs Test* dilakukan untuk pengujian asumsi selanjutnya, yaitu kebebasan sisaan. Berdasarkan uji ini diperoleh *p-value* 0,969, sehingga sisaan saling bebas.

Masalah multikolinearitas dalam fungsi produksi translog tidak dapat dihindarkan (Pavelescu, 2010). Hal ini disebabkan pada model terdapat faktor interaksi antara dua peubah bebas, yang menyebabkan nilai korelasi

tinggi. Oleh karena itu, korelasi antara satu peubah bebas dan interaksinya dapat diabaikan. Pada penelitian ini, nilai korelasi peubah bebas dan interaksinya sangat tinggi. Mengacu pada nilai korelasi peubah bebas satu dengan lainnya dan mengabaikan nilai korelasi terhadap interaksinya, maka nilai korelasi tidak lebih dari 0,8, sehingga disimpulkan tidak terdapat multikolinearitas (Lampiran 2).

### Analisis Stochastic Frontier Translog

Hasil analisis regresi *stochastic frontier translog* menunjukkan hanya tiga peubah bebas yang berpengaruh terhadap produksi bawang merah (Lampiran 3). Hal ini dapat dilihat dari nilai  $t$  hitung yang lebih kecil dari nilai  $t$  tabel dengan derajat bebas 70 dan taraf nyata 0,05. Peubah yang berpengaruh tersebut yaitu interaksi antara bibit dan pestisida, interaksi antara pupuk P dengan *surplus nitrogen*, dan interaksi antara pupuk K dengan *surplus nitrogen*. Data ini, menunjukkan interaksi beberapa peubah secara bersama-sama berpengaruh nyata terhadap produksi bawang merah. Besarnya pengaruh di antara faktor produksi dapat dilihat dari nilai elastisitas yang dimiliki masing-masing faktor produksi.

Elastisitas menyatakan tingkat perubahan faktor produksi terhadap produksi. Koefisien parameter dugaan  $\beta$  pada fungsi produksi translog bukan merupakan nilai elastisitas *input* (Lampiran 3). Nilai elastisitas pada fungsi produksi translog dihitung dengan rumus persamaan (10), seperti terlihat pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 dapat dilihat nilai elastisitas bibit adalah yang tertinggi yaitu 0,1687. Artinya setiap kenaikan penggunaan bibit sebesar 10% akan menaikkan produksi 1,69%. Selain bibit, nilai elastisitas *surplus nitrogen* juga cukup besar jika dibandingkan dengan peubah pupuk P, pupuk K, pestisida, luas lahan, dan tenaga kerja, yaitu -0,0063. Nilai ini mengindikasikan bahwa setiap kenaikan *surplus nitrogen* akibat penggunaan dosis pupuk *nitrogen* yang berlebihan sebesar 10% akan menurunkan produksi bawang merah 0,063%. Penurunan produksi akibat *surplus nitrogen* tidak terlalu besar, namun jika terus dilakukan maka produksi bawang merah semakin menurun, bahkan berdampak negatif terhadap lingkungan (Reinhard, 1999).

Nilai dugaan parameter *sigma-squared* ( $\sigma^2$ ) yang merupakan total keragaman yang disumbangkan oleh efek inefisiensi dan efek eksternal adalah 0,0033. Nilai dugaan parameter *sigma-squared* ( $\sigma^2$ ) ini nyata pada taraf 0,05 dengan keragaman produksi bawang merah 0,33%. Parameter kedua adalah  $\gamma$  yang merupakan rasio dari keragaman efek inefisiensi ( $u_i$ ) terhadap keragaman total produksi ( $\sigma^2$ ) dengan nilai dugaan 0,0044 atau keragaman yang disumbangkan 0,44%. Nilai dugaan parameter kedua ini tidak nyata pada taraf 0,05, artinya total keragaman ( $\sigma^2$ ) lebih banyak disumbangkan oleh

efek eksternal dibanding efek inefisiensi. Efek eksternal yang mempengaruhi produksi antara lain iklim, serangan hama penyakit, dan kesalahan pemodelan (Ojo *et al.*, 2009).

**Hubungan antara Efisiensi Teknis dengan Efek Inefisiensi Teknis Petani**

Efisiensi teknis berkaitan dengan cara pengelolaan faktor-faktor produksi oleh petani. Nilai efisiensi teknis berkisar antara 0 sampai 1. Semakin mendekati 1, maka secara teknis petani sudah efisien. Bakhsh dan Ahmad (2006) mendefinisikan jika nilai  $ET > 0,7$  maka usaha tani cukup efisien, sedang Kurniawan (2008) menyatakan usaha tani dikatakan efisien secara teknis jika nilai  $ET > 0,8$ . Rata-rata efisiensi teknis yang diperoleh dari 106 petani adalah 0,9475, dimana 45,28% diantaranya memiliki ET antara 0,94 sampai 0,95 (Tabel 2). Nilai efisiensi ini cukup besar, sehingga dapat dikatakan petani bawang merah di Nganjuk secara teknis sudah efisien dalam menggunakan faktor produksi.

Efek inefisiensi teknis yang dihitung menggunakan persamaan (4) lebih mencerminkan kondisi sosial ekonomi atau tingkat managerial petani. Efek inefisiensi yang digunakan adalah untuk peubah usia petani, lama pendidikan formal, petani dan lama menjadi petani. Efek inefisiensi ini menjelaskan pengaruh kinerja petani di lapangan terhadap tingkat efisiensi teknis.

Hubungan antara efisiensi teknis dengan efek inefisiensi teknis petani dapat dilihat melalui model sebagai berikut:

$$u_i = \delta_0 + \delta_1 I_1 + \delta_2 I_2 + \delta_3 I_3 + w_i \dots \dots \dots (12)$$

dimana  $I_1$  adalah usia petani (tahun),  $I_2$  adalah lama pendidikan formal petani (tahun),  $I_3$  lama menjadi petani (tahun), dan  $w$  galat acak. Nilai yang diharapkan yaitu  $\delta_0 > 0$ ,  $\delta_1 > 0$ ,  $\delta_2 < 0$ ,  $\delta_3 < 0$ . Hasil dugaan efek inefisiensi teknis petani berdasarkan persamaan (12) disajikan pada Tabel 3.

Kurniawan (2008) menjelaskan bahwa nilai dugaan yang diharapkan untuk usia petani adalah bertanda positif, artinya semakin tua petani semakin tidak efisien secara teknis. Sebaliknya, nilai dugaan efek inefisiensi lama pendidikan formal petani dan lama menjadi petani adalah bertanda negatif, artinya semakin lama petani menjalani pendidikan formal dan semakin lama menjadi petani akan semakin efisien secara teknis.

Nilai dugaan efek inefisiensi usia petani bertanda negatif dan tidak nyata pada taraf nyata 0,05 (Lampiran 3). Hasil analisis efek inefisiensi lainnya yaitu lama pendidikan formal petani dan lamanya menjadi petani sudah sesuai harapan atau nilai koefisien bertanda negatif, artinya semakin lama pendidikan formal petani dan semakin lama menjadi petani akan semakin efisien secara teknis. Kedua nilai ini juga tidak nyata pada taraf nyata 0,05 seperti halnya peubah usia ( $I_1$ ),

Tabel 1. Nilai elastisitas faktor produksi

Faktor produksi	Nilai elastisitas
Luas lahan	-0,2671
Bibit	0,1687
Pupuk P	-0,0895
Pupuk K	-0,1239
Pestisida	-0,0664
Tenaga kerja	-0,0112
Surplus Nitrogen	-0,0063

Tabel 2. Nilai Efisiensi Teknis Usaha Tani Bawang Merah

Efisiensi Teknis (ET)	Jumlah Petani	Persentase (%)
$0,91 \leq ET < 0,92$	-	-
$0,92 \leq ET < 0,93$	-	-
$0,93 \leq ET < 0,94$	26	24,53
$0,94 \leq ET < 0,95$	48	45,28
$0,95 \leq ET < 0,96$	19	17,92
$0,96 \leq ET < 0,97$	8	7,55
$0,97 \leq ET < 0,98$	3	2,83
$0,98 \leq ET < 0,99$	2	1,89
$0,99 \leq ET < 1,00$	-	-
Jumlah	106	100,00

sehingga ketiga peubah bebas tersebut tidak memberikan pengaruh terhadap tingkat efisiensi teknis. Untuk meningkatkan kemampuan petani dari sisi managerial, maka pemerintah perlu memberikan bimbingan dan pelatihan melalui penyuluhan agar petani dapat dengan mudah mendapatkan informasi, khususnya mengenai dosis penggunaan pupuk sehingga dapat membantu menaikkan tingkat efisiensi lingkungan petani bawang merah di Nganjuk, Jawa Timur, menuju terwujudnya pertanian berkelanjutan.

**Efisiensi Lingkungan**

Perhitungan efisiensi lingkungan dilakukan dengan menggunakan nilai  $\beta$  duga yang sudah diperoleh dari persamaan fungsi produksi *stochastic frontier translog*. Nilai beta yang digunakan hanya yang berinteraksi dengan Z atau *surplus nitrogen*. Nilai beta tersebut yaitu  $\beta_{z_1}, \beta_{z_2}, \beta_{z_3}, \beta_{z_4}, \beta_{z_5}$  dan  $\beta_{z_6}$ .

Berdasarkan hasil analisis dari 106 petani bawang merah di Nganjuk diperoleh nilai rata-rata *EEnv* 0.2765. Hal ini secara umum petani belum efisien dilihat dari aspek lingkungan atau penggunaan pupuk *nitrogen* belum sesuai dosis anjuran. Nilai tertinggi efisiensi lingkungan yang diperoleh adalah 0,4242, sedangkan nilai terendah efisiensi lingkungan 0,0347 (Tabel 4).

Ragam efek inefisiensi teknis petani adalah 0,00012. Nilai ini sangat kecil, sehingga sesuai dengan nilai dugaan parameter gamma yang menyatakan keragaman yang disumbangkan oleh efek inefisiensi terhadap keragaman total hanya 0,44%. Menurut Kurniawan (2008), batas pencapaian efisiensi yang baik adalah 0,8.

Karakteristik petani yang memiliki nilai efisiensi lingkungan terendah dan tertinggi dari segi produksi dan

penggunaan faktor produksi serta latar belakang sosial petani dapat dilihat pada Lampiran 4. Dapat dijelaskan bahwa petani yang memperoleh nilai efisiensi lingkungan terkecil 0,0347 memiliki tingkat *surplus nitrogen* yang tinggi sebesar 104,9 kg/ha, sedangkan petani dengan efisiensi lingkungan terbesar yaitu 0,4242 memiliki tingkat *surplus nitrogen* rendah 8,6 kg/ha. Petani yang memiliki nilai efisiensi lingkungan tertinggi memperoleh produksi yang lebih besar yaitu 7.000 kg/1.400 m<sup>2</sup>, dibandingkan dengan petani yang memiliki efisiensi lingkungan terendah dengan produksi hanya 2.500 kg/2.500 m<sup>2</sup>.

Dilihat dari latar belakang sosial petani seperti usia, petani, lama pendidikan formal, dan lama menjadi petani, maka nilai efisiensi lingkungan terendah terlihat pada petani usia tua, menjalani pendidikan formal tidak lama, dan belum lama menjadi petani. Hal yang sebaliknya ditunjukkan oleh petani dengan usia yang lebih muda, menjalani pendidikan formal lebih lama dan sudah lama menjadi petani dengan nilai efisiensi lingkungan yang lebih baik. Hal ini sesuai dengan asumsi bahwa petani yang lebih muda, lama menjalani pendidikan formal dan lebih berpengalaman menjadi petani memiliki tingkat efisiensi lingkungan yang lebih tinggi.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

**Kesimpulan**

Hasil analisis *stochastic frontier translog* memperlihatkan produksi bawang merah dipengaruhi oleh interaksi antara penggunaan bibit dengan pestisida, pupuk P dengan *surplus nitrogen*, dan pupuk K dengan

Tabel 3. Efek inefisiensi teknis petani

Efek Inefisiensi	Koefisien	t hitung
Usia petani ( $\delta_1$ )	-0.0004	-0.5133
Lama pendidikan formal petani ( $\delta_2$ )	-0.0031	-1.2516
Lama menjadi petani ( $\delta_3$ )	-0.0006	-0.6451

Sumber: Hasil pengolahan data primer

Tabel 4. Nilai efisiensi lingkungan petani

Efisiensi Lingkungan	Jumlah petani	Persentase (%)
$0,0 \leq EEnv < 0,1$	5	4,72
$0,1 \leq EEnv < 0,2$	18	16,98
$0,2 \leq EEnv < 0,3$	28	26,41
$0,3 \leq EEnv < 0,4$	52	49,06
$0,4 \leq EEnv < 0,5$	3	2,83

Sumber: Hasil pengolahan data primer

*surplus nitrogen*. Kontribusi terbesar terhadap produksi bawang merah disumbang oleh *input* bibit dengan nilai elastisitas 0,1687.

Dilihat dari sisi efisiensi teknis (ET), petani bawang merah telah efisien dari sisi teknis, yang ditunjukkan oleh nilai rata-rata ET 0,9475. Sebaliknya tingkat efisiensi lingkungan belum tercapai, yang ditunjukkan oleh nilai rata-rata *EEnv* yang hanya 0,2765.

Penggunaan metode regresi *stochastic frontier translog* terbukti dapat memberikan informasi yang baik tentang tingkat efisiensi lingkungan dalam mendukung penerapan pertanian berkelanjutan. Dengan demikian diharapkan dapat memberikan manfaat bagi para pengambil kebijakan untuk melakukan evaluasi dan perencanaan pembangunan pertanian berkelanjutan di kemudian hari.

### Saran

Model regresi *stochastic frontier translog* regresi yang dibangun pada penelitian ini baru menganalisis satu peubah detrimental input dalam proses produksi. Oleh karena itu perlu dikembangkan model lain dengan menggunakan dua atau lebih peubah *detrimental input* yang dinilai dapat merusak lingkungan dan diharapkan mampu memberikan informasi yang lebih komprehensif.

### DAFTAR PUSTAKA

- Agung, I., N. Pasay, dan Sugiharso. 2008. Teori Ekonomi Mikro Suatu Analisis Produksi Terapan. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Bakhsh, K.A, and B. Ahmad. 2006. Technical efficiency and its determinant in potato production, evidence from Punjab, Pakistan. The Lahor Journal of Economics 11 (2) : 1-22.
- Battese, G.E, and T.J Coelli. 1993. A stochastic frontier function incorporating a model for technical inefficiency effects. Working Papers in Economics and Applied Statistics. Department of Econometric. University of New England Armidale, New South Wales.
- CBD [Convention on Biological Diversity]. 2010. Sustainable Agriculture and the Sustainable Use of Agriculture Biodiversity: Concepts, Trend and Challenges. Convention on Biological Diversity. Forteenth Meeting, 10-21 May 2010.
- Coelli, T.J. 1996. A Guide to FRONTIER Version 4.1: a Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation. Centre for Efficiency and Productivity Analysis. University of New England, Armidale.
- Dewanto, F.G., J.J.M.R. Londok, R.A.V. Turoong, dan W.B. Kaunang. 2013. Pengaruh Pemupukan Anorganik dan Organik terhadap produksi Tanaman Jagung sebagai Sumber Pakan. Jurnal Zootek 32 (5): 1-8.
- Dewi. N. 2012. Untung Segunung Bertanam Aneka Bawang. Yogyakarta: Pustaka Baru Pres.
- Draper, N. and H. Smith. 1992. Analisis Regresi Terapan. Sumantri B, penerjemah. Jakarta: Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama. Terjemahan dari: Applied Regression Analysis. Ed ke-2.
- Graham, M. 2004. Environmental efficiency: meaning and measurement and application to Australian dairy farmers. Deakin University, Victoria, Australia; [http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/58450/2/2004\\_graham.pdf](http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/58450/2/2004_graham.pdf). Diakses pada tanggal 19 Juli 2014.
- Guo, H. and S. Marchand. 2012. The Environmental Efficiency of Organic Farming in Developing Countries: A Case Study From China. Etudes et Documents Page. 21.
- Kurniawan, A.Y. 2008. Analisis Efisiensi Ekonomi dan Daya Saing Usaha Tani Jagung Pada Lahan Kering di Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. Tesis. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Ladiyani, R.W., S. Diah, dan S. De neve. 2007. Pengelolaan Hara Nitrogen untuk Komoditas Sayuran Dataran Tinggi pada Aquandic Dystrudepts Karang Anyar, Jawa Tengah. Hlm. 258. Tersedia pada: [http://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/dokumentasi/lainnya/23-Ladiyani et al.-Pengelolaan Hara Nitrogen untuk Komoditas Sayuran Dataran Tinggi.pdf](http://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/dokumentasi/lainnya/23-Ladiyani%20et%20al.-Pengelolaan%20Hara%20Nitrogen%20untuk%20Komoditas%20Sayuran%20Dataran%20Tinggi.pdf). Diakses pada tanggal 29 Oktober 2015.
- Mkhabela, T.S. 2011. An Econometric Analysis of the Economic and Environmental Efficiency of Dairy Farms in the KwaZulu-Natal Midlands [dissertation]. Afrika Selatan: Stellenbosch University.
- Ojo, M.A., Mohammed, U.S., Ojo, and A.O., Olaley, R.S. 2009. Return to Scale and Determinants of Farm Level Technical Inefficiency Among Small Scale Yam Based Farmers in Niger State, Nigeria: Implication for Food Security. International Journal of Agricultural Economics and Rural Development 2 (1) : 43-51.
- Pavelescu, F.M. 2010. Some Aspects of The Translog Production Function Estimation. Page 134. Tersedia pada: [revecon.ro/articles/2011-1/2011-18.pdf](http://revecon.ro/articles/2011-1/2011-18.pdf) [Diakses pada tanggal 20 Oktober 2015].
- Reinhard, S. 1999. Econometric Analysis of Economic and Environmental Efficiency of Dutch Dairy Farms. Dissertation. Belanda: Agricultural Economics Research Institute. Page. 17.



- Rigby, D. and C. Daniel. 1997. The Sustainability of Agricultural Systems. Working Paper No 10. Rural Livelihoods Working Paper Series. Institute for Development Policy and Management, University of Manchester, Precinct Centre, Manchester, M13 9GH, UK. Page. 5.
- Sumarni, N dan H. Achmad. 2005. Budidaya Bawang Merah. Balai Penelitian Tanaman Sayuran. Pusat Penelitian Hortikultura. Badan litbang Pertanian. Hlm. 12.
- Widodo, P. 2008. Potensi pencemaran air tanah oleh penggunaan pupuk nitrogen pada tanaman melon di Kecamatan Kebonarum Kabupaten Klaten. Skripsi. Fakultas Geografi. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jawa Tengah.

Lampiran 1. Analisis deskriptif peubah respon Y dan enam peubah bebas

Peubah	Simbol	Rata-rata	Simpangan baku	Minimum	Maksimum
Produksi bawang merah (Kg)	Y	3388,05	2776.05	500	18000
Luas lahan (m <sup>2</sup> )	X <sub>1</sub>	2254,25	1267.88	300	7000
Bibit (Kg)	X <sub>2</sub>	264.33	179.83	15	900
Pupuk P (Pkg/luas lahan)	X <sub>3</sub>	60.50	50.8	0	345
Pupuk K (Kkg/luas lahan)	X <sub>4</sub>	80.73	50.39	8	219
Pestisida (ml/luas lahan)	X <sub>5</sub>	3854.97	3604.55	500	15975
Tenaga kerja (Hari Kerja Setara Pria)	X <sub>6</sub>	32	27.97	3	157
Surplus Nitrogen (Kg/ha)	Z	72.07	84.43	0.6	558.5

Lampiran 2. Nilai korelasi antar peubah bebas

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>
X <sub>1</sub>						
X <sub>2</sub>	0.536					
X <sub>3</sub>	-0.007	0.002				
X <sub>4</sub>	-0.015	0.049	0.072			
X <sub>5</sub>	0.620	0.545	-0.137	-0.057		
X <sub>6</sub>	0.298	0.337	0.171	-0.034	0.348	
Z	0.184	0.089	-0.098	0.162	0.152	0.127

Lampiran 3 Koefisien nilai beta duga ( $\beta$ )

Parameter regresi	Koefisien regresi	Galat baku	t hitung	t tabel
Intersep ( $\beta_0$ )	1.1529	0.9930	1.1610	1.9944
$\ln X_1$ ( $\beta_1$ )	0.5200	0.3783	1.3745	
$\ln X_2$ ( $\beta_2$ )	-0.2932	0.1940	-1.5111	
$\ln X_3$ ( $\beta_3$ )	-0.0754	0.0625	-1.2068	
$\ln X_4$ ( $\beta_4$ )	0.2567	0.1907	1.3467	
$\ln X_5$ ( $\beta_5$ )	-0.1161	0.2074	-0.5598	
$\ln X_6$ ( $\beta_6$ )	0.1745	0.1776	0.9828	
$\ln Z$ ( $\beta_z$ )	-0.1120	0.1092	-1.0264	
$\ln X_1 \ln X_1$ ( $\beta_{11}$ )	-0.0025	0.0688	-0.0359	
$\ln X_2 \ln X_2$ ( $\beta_{22}$ )	0.0408	0.0348	1.1730	
$\ln X_3 \ln X_3$ ( $\beta_{33}$ )	0.0006	0.0017	0.3317	
$\ln X_4 \ln X_4$ ( $\beta_{44}$ )	0.0018	0.0031	0.5736	
$\ln X_5 \ln X_5$ ( $\beta_{55}$ )	-0.0284	0.0346	-0.8194	
$\ln X_6 \ln X_6$ ( $\beta_{66}$ )	0.0073	0.0278	0.2630	
$\ln Z \ln Z$ ( $\beta_{zz}$ )	0.0090	0.0092	0.9741	
$\ln X_1 \ln X_2$ ( $\beta_{12}$ )	-0.1107	0.0579	-1.9119	
$\ln X_1 \ln X_3$ ( $\beta_{13}$ )	-0.0416	0.0451	-0.9232	
$\ln X_1 \ln X_4$ ( $\beta_{14}$ )	-0.0169	0.0650	-0.2592	
$\ln X_1 \ln X_5$ ( $\beta_{15}$ )	-0.0211	0.0565	-0.3727	
$\ln X_1 \ln X_6$ ( $\beta_{16}$ )	0.0587	0.0678	0.8667	
$\ln X_1 \ln Z$ ( $\beta_{1z}$ )	-0.0164	0.0166	-0.9857	
$\ln X_2 \ln X_3$ ( $\beta_{23}$ )	0.0402	0.0298	1.3499	
$\ln X_2 \ln X_4$ ( $\beta_{24}$ )	-0.0284	0.0594	-0.4785	
$\ln X_2 \ln X_5$ ( $\beta_{25}$ )	0.1644*)	0.0528	3.1109	
$\ln X_2 \ln X_6$ ( $\beta_{26}$ )	-0.0705	0.0515	-1.3676	
$\ln X_2 \ln Z$ ( $\beta_{2z}$ )	0.0129	0.0168	0.7675	
$\ln X_3 \ln X_4$ ( $\beta_{34}$ )	0.0036	0.0159	0.2289	
$\ln X_3 \ln X_5$ ( $\beta_{35}$ )	0.0089	0.0196	0.4550	
$\ln X_3 \ln X_6$ ( $\beta_{36}$ )	-0.0008	0.0134	-0.0605	
$\ln X_3 \ln Z$ ( $\beta_{3z}$ )	0.0156*)	0.0074	2.1150	
$\ln X_4 \ln X_5$ ( $\beta_{45}$ )	-0.0254	0.0501	-0.5073	
$\ln X_4 \ln X_6$ ( $\beta_{46}$ )	0.0442	0.0411	1.0754	
$\ln X_4 \ln Z$ ( $\beta_{4z}$ )	-0.0194*)	0.0086	-2.2489	
$\ln X_5 \ln X_6$ ( $\beta_{56}$ )	-0.0573	0.0443	-1.2921	
$\ln X_5 \ln Z$ ( $\beta_{5z}$ )	0.0249	0.0150	1.6664	
$\ln X_6 \ln Z$ ( $\beta_{6z}$ )	-0.0113	0.0099	-1.1344	
Sigma-squared ( $\sigma^2$ )	0.0033*)	0.0004	7.4194	
Gamma ( $\gamma$ )	0.0044	1.3572	0.0032	

Keterangan: \*) nyata pada taraf nyata 0.05

Lampiran 4. Karakteristik penggunaan faktor produksi dan latar belakang petani dengan tingkat EEnv terendah dan tertinggi

Faktor produksi dan latar belakang	Efisiensi lingkungan	
	Terendah	Tertinggi
Produksi (kg/luas lahan)	2.500	7.000
Luas lahan (m <sup>2</sup> )	2.500	1.400
Bibit (kg/luas lahan)	200	100
Pupuk P (P kg/luas lahan)	4,8	24
Pupuk K (K kg/luas lahan)	4,8	69
Pestisida (ml/luas lahan)	1.960	678
Tenaga kerja (HKSP)	13	14
Surplus Nitrogen (kg/ha)	104,9	8,6
Usia petani (tahun)	65	38
Lama pendidikan petani (tahun)	9	12
Lama menjadi petani (tahun)	9	28