



Aman Djauhari \*

---

## **Pendekatan Fungsi Cobb-Douglas dengan Elastisitas Variabel dalam Studi Ekonomi Produksi Suatu : Contoh Aplikasi pada Padi Sawah**

### ***Pendahuluan***

Menyadari bahwa pembangunan pertanian agar dapat melaju dan berkembang salah satu pelancarnya ialah tersedianya teknologi yang selalu berubah maju dan diadopsinya teknologi tersebut oleh petani secara meluas (Mosher, 1966), maka sejak awal masa pembangunan inovasi teknologi selalu diusahakan berjalan terus menerus. Namun individu-individu petani mempunyai kemampuan (sumberdaya dan pengetahuan) berbeda dan menghadapi lingkungan fisik, sosial dan ekonomi yang beragam, sehingga tingkat adopsi teknologi produksi berbeda-beda.

Keragaman adopsi teknologi diperbesar dengan kecenderungan petani tidak mengadopsi satu paket teknologi sekaligus melainkan sebagian demi sebagian (Gladwins; 1979). Keragannya di lapang oleh Heytens (1990) digambarkan sebagai spektrum teknologi produksi padi yang luas. Berpuluh jenis pestisida dengan merk dagang berbeda tersedia. Pada musim tanam MT. 1994/1995 semasa berlangsungnya proyek PHT, petani di Karawang menggunakan berbagai kombinasi dari 23 jenis merk dagang dari pestisida dan pada MT 1995 dari 26 jenis merk dagang (Djauhari, et al, 1996). Setiap petani dapat memakai kombinasi yang berbeda dari tidak memakai pestisida sama sekali sampai petani yang memakai pestisida selama semusim sebanyak 6 jenis dengan frekuensi penyemprotan antara satu sampai lebih dari 5 kali. Pada studi yang sama juga terungkap penggunaan 7 kombinasi hara yang berbeda oleh petani, belum termasuk variasi dalam cara aplikasi dan dosis. Paling tidak ada empat cara pengolahan tanah yang berbeda. Jenis padi unggul baru diciptakan tiap tahun.

Kelembagaan tanam dan panen yang berbeda berdampingan. Pilihan petani yang berbeda pada jenis dan dosis faktor produksi akan mempengaruhi produktivitas dan keperluan tenaga kerja. Misalnya pada kajian paket Supra Insus di Karawang (Adnyana, et al, 1989) memberikan gambaran tingkat variasi

---

\* *Peneliti pada Pusat Sosial Ekonomi Pertanian*

yang tinggi dari penggunaan input produksi sebelum Supra Insus (SI) (MH.1986/87) dan sesudah SI (MH.1987/88). Pemakaian urea pada MH 1986/1987 rata-rata 208 kg/ha tetapi kisarannya sangat lebar ialah antara 55-350 kg/ha, sedangkan pada MH 1987/1988 penggunaan urea mencapai rata-rata 212 kg/ha bervariasi antara 100-315 kg/ha. Proses produksi berjalan dengan perbandingan faktor produksi dan teknik produksi yang beragam.

Dengan gambaran diatas maka pada kenyataan di lapang proses produksi dimungkinkan dengan berbagai perbandingan faktor dan teknik produksi. Dimana ada beberapa teknik produksi yang berbeda pada suatu industri, maka dimungkinkan elastisitas produksi partial dan skala usaha akan berbeda nyata diantara teknik produksi tersebut. Jika hal itu benar maka tidak seyogyanya pada wilayah yang demikian hubungan input output hanya diduga dengan fungsi hubungan input output tunggal. Selama ini pendekatan fungsi produksi tunggal banyak dipakai diantaranya Erwidodo, 1984; Djahhuri, et al, 1989 dan Malian et al, 1990. Beberapa studi mendekati masalah ini dengan menduga fungsi hubungan input output tunggal untuk masing-masing kategori teknik produksi, yang digolongkan atas dasar kriteria yang telah ditentukan sebelumnya (Malian, et al, 1989).

Pendekatan terakhir itu menimbulkan beberapa implikasi penting ialah elastisitas produksi partial dan skala usaha dari sub sampel merupakan fungsi dari cara penggolongan sampel, sehingga penggolongan tersebut sangat kritis. Selanjutnya, jika sampel diambil secara acak maka tidak ada garansi semua teknik produksi akan terwakili dengan baik dan pendugaan fungsi tunggal bagi tiap golongan akan menghilangkan atau mengurangi manfaat derajat bebas dari jumlah pengamatan seluruhnya (Ulveling dan Flecher, 1970).

Untuk mengatasi masalah tersebut maka kedua peneliti tersebut mengembangkan fungsi Cobb Douglas yang dimodifikasi sedemikian sehingga dapat mengestimasi suatu data pool semua observasi dan memberikan skala usaha yang bervariasi untuk proses produksi dengan teknik berbeda.

### ***Kerangka Pemikiran***

Konsep Cobb Douglas dengan elastisitas bervariasi yang dikembangkan Ulveling dan Fletcher (1970) melalui alur sebagai berikut :

Misalnya fungsi Cobb Douglas berbentuk

$$Y = AX_1^{B1} \cdot X_2^{B2} \cdot X_3^{B3} \quad (1)$$

Kemudian menyatakan elastisitas B dalam persamaan (1) diatas dalam bentuk :

$$B1 = B1 (I)$$

$$B_2 = B_2(I)$$

$$B_3 = B_3(I)$$

Variabel I dihipotesakan mempengaruhi secara signifikan elastisitas produksi partial B, dan dengan sendirinya skala usaha, karena skala usaha didefinisikan  $= \sum B_i$

Pengaruh variabel I dapat diuji jika dimasukkan dalam model persamaan (1) menjadi :

$$Y = AX_1^{B_1(I)} \cdot X_2^{B_2(I)} \cdot X_3^{B_3(I)} \quad (2)$$

Garis skala pada persamaan (2) tidak lagi unik seperti dalam (1), karena ada variabel (I) yang mempengaruhi. Namun keduanya tetap melalui titik asal (o). Dengan demikian fleksibilitas yang nyata telah diintroduksikan dengan konsepsi elastisitas partial yang variabel. Hal ini memberikan tambahan informasi yang berguna.

Pemilihan atau pembentukan Variabel (I) dapat mewakili perbedaan dalam ukuran, tingkat pengelolaan, kapital atau tenaga kerja, yang penting terukur. Biasanya dengan introduksi variabel I tersebut fungsi produksi sudah tidak lagi bersifat *homogeneous*.

Untuk keperluan estimasi persamaan (2) dapat dituliskan lagi dalam bentuk persamaan linier logaritma sebagai :

$$\ln Y = \ln A + B_1(I) \ln X_1 + B_2(I) \ln X_2 + B_3(I) \ln X_3 \quad (3)$$

Dengan asumsi B berfungsi linier dalam parameternya dan dengan begitu dapat dipakai alat estimasi *Ordinary Least Square* (OLS). Setiap nilai variabel I akan menpresentasikan satu deret elastisitas partial dari masing-masing variabel bebas dan skala usaha tertentu dan permukaan produksi yang unik.

### ***Contoh Aplikasi***

Sebagai contoh dari penerapan konsep tersebut diatas maka akan dipakai data hasil survey usahatani padi di Karawang MT 1985/1986 meliputi 94 petani (Djauhari, 1987). Untuk mengurangi kerumitan maka dibuat spesifikasi sebagai berikut :

Variabel tak bebas :  $(Y_1)$  = nilai produksi kotor (Rp/ha)

$(Y_2)$  = produksi fisik bruto (kg/ha)

Variabel tidak bebas :

$X_1$  = Luas garapan (ha)

$X_2 =$  Tenaga kerja (HKO)

Agregasi dari tenaga kerja upahan dan tenaga kerja keluarga.  
Termasuk tenaga pengolah tanah secara manual

$X_3 =$  Nilai kapital ialah modal kerja untuk pengadaan benih,  
bermacam pupuk dan obat serta sewa traktor.

Variabel yang mempengaruhi elastisitas produksi dari variabel bebas (I – indek) dihipotesakan berupa intensitas penggunaan kapital kerja dengan formulasi

$$I = X_3 / X_1$$

Dalam estimasi I dirubah nilainya dengan membagi semua I dengan nilai I yang terkecil sehingga bernilai Indeks. Hubungan antara B dan I diasumsikan dapat dalam bentuk :

$$\text{Linier B (I)} = a + b_1 I$$

$$\text{Kuadrat B (I)} = a + b_1 I^2 \text{ - atau}$$

$$\text{Linier kuadrat B (I)} = a + b_1 I + b_2 I^2$$

Dengan demikian persamaan (3) diatas dapat berbentuk :

$$\text{Model 1. } Y_{1,2} = AX_1^{(a_0 + a_1 I)} \cdot X_2^{(b_0 + b_1 I)} \cdot X_3^{(c_0 + c_1 I)} \cdot U, \text{ atau}$$

$$\text{Ln } Y_{1,2} = \text{Ln } A + (a_0 + a_1 I) \text{Ln} X_1 + (b_0 + b_1 I) \text{Ln} X_2 \\ + (c_0 + c_1 I) \text{Ln} X_3$$

$$\text{Ln } Y_{1,2} = \text{Ln } A + a_0 \text{Ln} X_1 + a_1 I \text{Ln} X_1 + b_0 \text{Ln} X_2 + b_1 I^2 \text{Ln} X_2 \\ + c_0 \text{Ln} X_3 + c_1 I \text{Ln} X_3 + U$$

$$\text{Model 2. } Y_{1,2} = AX_1^{(k_0 + k_1 I^2)} \cdot X_2^{(l_0 + l_1 I^2)} \cdot X_3^{(m_0 + m_1 I^2)} \cdot U, \text{ atau}$$

$$\text{Ln } Y_{1,2} = \text{Ln } A + (k_0 + k_1 I^2) \text{Ln} X_1 + (l_0 + l_1 I^2) \text{Ln} X_2 \\ + (m_0 + m_1 I^2) \text{Ln} X_3$$

$$\text{Ln } Y_{1,2} = \text{Ln } A + K_0 \text{Ln} X_1 + K_1 I^2 \text{Ln} X_1 + l_0 \text{Ln} X_2 + l_1 I^2 \text{Ln} X_2 \\ + m_0 I^2 \text{Ln} X_3 + m_1 I^2 \text{Ln} X_3 + U$$

Model 3.  $Y_{1,2} = AX_1^{(p_0 + p_1 I + p_2 I^2)} \cdot X_2^{(q_0 + q_1 I + q_2 I^2)} \cdot X_3^{(r_0 + r_1 I + r_2 I^2)} \cdot U$ ,  
atau

$$\begin{aligned} \ln Y_{1,2} &= \ln A + p_0 \ln X_1 + p_1 I \ln X_1 + p_2 I^2 \ln X_1 \\ \ln Y_{1,2} &= \ln A + K_0 \ln X_1 + K_1 I^2 \ln X_1 + l_0 \ln X_2 + l_1 I^2 \ln X_2 \\ &\quad + q_0 I^2 \ln X_2 + q_1 I \ln X_2 + p_2 I^2 \ln X_2 \\ &\quad + r_0 \ln X_3 + r_1 I \ln X_3 + r_2 I^2 \ln X_3 + U \end{aligned}$$

Pemilihan model yang paling baik berdasarkan kriteria jumlah koefisien yang signifikan paling banyak dan nilai  $R^2$ .

### ***Karakteristik Usahatani Petani Sampel***

Menurut Djauhari (1987) padi sawah MT 85/86 di Karawang ditanam antara bulan Oktober dan Januari, namun sebagian besar terpusat pada periode Nopember minggu 3 dan Desember minggu 2, dengan luas garapan antara 0,25 ha sampai dengan 4,5 ha yang dimiliki/gadai (68%) dan/atau sakah (32%). Rata-rata luas garapan mencapai 0,98 ha. Pada umumnya (87%) sudah mengolah tanah dengan traktor. Varietas Cisadane sedang populer ditanam oleh 85% petani. Seluruh petani telah menggunakan pupuk urea dan TSP sedangkan KCl masih jarang yang memakai dosis tiap ha untuk Urea antara 100 s/d 600 kg (rata-rata 158 kg), TSP antara 59–200 kg (rata-rata 158 kg), KCl antara 0 s/d 71 kg (rata-rata 2 kg). Cara pemupukan ini dapat digolongkan menjadi 5 teknik yang berbeda.

Pemakaian pestisida sudah merata, rata-rata mencapai 3,69 lt/ha untuk pestisida cair oleh 71% petani, 10 kg/ha pestisida butir oleh 60% petani, dan 0,94 kg pestisida tepung oleh 31% petani. Semua pengelolaan dikerjakan oleh tenaga kerja keluarga 24% dan tenaga upahan 76%.

Dengan masukan dan pengelolaan demikian produksi berkisar antara 3,0 ton sampai dengan 8,4 ton dengan rata-rata mencapai 5,563 ton tiap ha. Petani masih memperoleh keuntungan diatas biaya variabel berkisar antara Rp. 76.000 s/d Rp. 1.454.000 tiap ha dengan rata-rata Rp. 384.000 tiap ha.

### ***Hasil Estimasi***

Hasil estimasi parameter dari model yang dihipotesakan (lampiran I) maka hubungan B dan I sangat signifikan dalam bentuk hubungan linier untuk B1, campuran untuk B2 dan B3. Hal ini lebih menunjukkan kecocokan model dengan variabel tidak bebas hasil dalam unit produksi fisik dimana  $R^2 = 0,84$  dibandingkan jika memakai nilai produksi ( $R^2 = 0,75$ ).

Untuk itu di estimasi ulang dengan model tersebut dan menghasilkan fungsi Cobb Douglas dengan elastisitas variabel sebagai berikut :

$$Y_{1.} = 583,591 X_1^{0,6632^{***}} \cdot X_2^{(-1,5472 + 1,5910 I - 0,3516 I^2)^{**}} \cdot X_3^{(0,9019 - 0,7164 I + 0,1564 I^2)}$$

$$N = 94; \text{SEE} = 0,2562; F_{(7,86)} = 64,099; R^2 = 0,8372; \bar{R}^2 = 0,8261$$

Dimana : N = jumlah pengamatan (sampel)

SEE = merupakan standard error estimate/galet

F = adalah uji statistik dari koefisien secara keseluruhan dengan derajat bebas tertentu dalam hal ini 7 (koefisien yang diduga 8) dan 86 (derajat bebas galat/sisa)

$R^2$  = adalah besaran yang menunjukkan tingkat representasi model disebut koefisien determinasi ganda (*coefficient of multiple determination*) yang menunjukkan representasi variasi dari nilai pengamatan (Y) yang terukur yang dapat diterangkan oleh persamaan fungsi yang diduga

$\bar{R}^2$  = adalah besaran yang menunjukkan tingkat representasi modal disebut koefisien determinasi ganda (*coefficient of multiple determination*) yang telah disesuaikan (*adjusted*) karena koefisien yang diduga relatif besar dibanding jumlah pengamatan, atau jumlah sampel pengamatan terlalu sedikit sehingga  $R^2$  *over estimate*. Penyesuaian dilakukan dengan mengoreksinya dengan faktor  $\frac{(n-1)}{(n-k)}$

Dari persamaan fungsi diatas maka dapat diturunkan koefisien regresi masing-masing peubah bebas seperti tercantum pada Tabel 1. Semua koefisien regresi sangat nyata pada taraf 1,5 dan 10%.

Tabel 2 menyajikan turunan perhitungan yang membuktikan adanya hubungan intensitas pemakai Indeks intensitas kapital pada parameter B. Karena hubungannya linier maka B1 (elastisitas luas garapan) konstan untuk setiap nilai I. Berbeda dengan itu nilai B2 (elastisitas tenaga kerja) dan B3 (elastisitas kapital) berkecenderungan menaik kemudian menurun. Skala usaha ( $\sum B_i$ ) mencapai puncak pada nilai I = 2,2 mendekati  $\sum B_i = 1$ . Dari Tabel 2 tersebut dapat dilihat pada tingkat intensitas kapital berapa fungsi masih menunjukkan *increasing, constant atau decreasing retur to scale*.

Tabel 1. Koefisien Regresi dan Nilai t dari Koefisien dari Model Fungsi Produksi Cobb Douglas dengan Elastisitas yang Variabel pada Usahatani Padi di Karawang MT.1985/86.

PEUBAH	KOEFISIEN	t	PELUANG
Ln Konstan	6,3692		
Ln X <sub>1</sub>	0,6632 ***	6,293	0,000
Ln X <sub>2</sub>	- 1,5472 *	- 1,933	0,0565
ILn X <sub>2</sub>	1,5910 **	2,211	0,0297
I <sup>2</sup> Ln X <sub>2</sub>	- 0,3516 **	- 2,230	0,284
Ln X <sub>3</sub>	0, 9019 **	2,352	0,02098
ILn X <sub>3</sub>	- 0,7164 **	- 2,208	0,0992
I <sup>2</sup> Ln X <sub>3</sub>	0,1564 **	2,220	0,02904

Catatan : Peubah tidak bebas produksi gabah bruto dalam kg.

\*\*\* signifikan pada 1 %

\*\* signifikan pada 5 %

\* signifikan pada 10 %

Tabel 2. Nilai Bi untuk Setiap Nilai I pada Fungsi Cob Douglas dengan Elastisitas Variabel

I	B1	B2	B3	ΣB123
1	0,6632	-0,3070	0,3419	0,6981
1.2	0,6632	-0,1443	0,2674	0,7863
1.4	0,6632	-0,0089	0,2055	0,8598
1.6	0,6632	0,0983	0,1560	0,9175
1.7	0,6632	0,1414	0,1360	0,9406
1.8	0,6632	0,1774	0,1191	0,9597
1.9	0,6632	0,2064	0,1053	0,9749
2.0	0,6632	0,2284	0,0947	0,9863
2.1	0,6632	0,2433	0,0872	0,9937
2.2	0,6632	0,2513	0,0828	0,9979
2.3	0,6632	0,2521	0,0815	0,9968
2.4	0,6632	0,2460	0,0834	0,9926
2.5	0,6632	0,2328	0,0884	0,9844
2.6	0,6632	0,2126	0,0965	0,9723
2.8	0,6632	0,1511	0,1222	0,9365
3.0	0,6632	0,0614	0,1603	0,8849

Sebagai pembandingan hasil estimasi elastisitas dengan fungsi Cobb Douglas baku adalah

$$\text{Ln}Y_1 = 6,9609 + 0,6968 \text{ Ln } X_1 + 0,1778 \text{ Ln } X_2 + 0,0639 \text{ Ln } X_3$$

$N = 94$ ;  $\text{SEE} = 0,2584$ ;  $R^2 = 0,8287$ ;  $R^2 = 0,8230$ ;  $F_{(3,90)} = 145,164$

Dari pendugaan tersebut maka nilai skala usaha tunggal setingkat  $\Sigma B_i = 0,88099$  yaitu menunjukkan rata-rata intensitas penggunaan kapital antara  $I = 1,4$  dan  $I = 1,6$  (Tabel 2). Fungsi Cobb Douglas baku hanya menghasilkan satu parameter (koefisien) dugaan tunggal untuk masing-masing variabel tetap. Sebaliknya dengan fungsi Cobb Douglas dengan elastisitas parsial yang variabel bagi masing-masing variabel tetap maka didapatkan banyak dugaan elastisitas parsial, tergantung dari tingkat intensitas kapital yang digunakan. Terlihat fungsi Cobb Douglas baku seolah hanya mencerminkan dugaan dengan intensitas kapital 1,4-1,6 padahal sampel dengan intensitas kapital lebih besar (teknologi yang berbeda) lebih besar (89%). Dengan demikian dengan modal elastisitas variabel dapat memberikan gambaran elastisitas partial dan teknologi yang berbeda.

### ***Kesimpulan***

Prosedur pendugaan dalam model yang dikembangkan berupa fungsi Cobb Douglas yang mempunyai elastisitas parsial variabel dengan introduksi faktor yang mempengaruhi, dapat mengakomodasi data yang mempunyai berbagai teknik produksi. Indek kapital secara sistematik dapat dipilih sebagai faktor yang mempengaruhi elastisitas parsial dari setiap faktor produksi sehingga skala usaha setiap teknik produksi dapat diduga. Pendekatan fungsi tunggal hanya dapat mengestimasi elastisitas teknik produksi dengan intensitas kapital rata-rata.

### ***Daftar Pustaka***

- Adnyana, M.O. A.M. Hurun dan A.Djulia, 1989. *Kegiatan Ekonomi Paket Teknologi Supra Insus Padi di Jalur Pantura Jawa Barat*, Puslitbangtan, Bogor.
- Djauhari, A. 1987. *Sistem Tananiaga Padi di Wilayah Sentra Produksi dan Dampaknya terhadap Pola Usahatani Padi*, Balittan, Bogor
- Djauhari A, Yan Supriatna, A.Kadar Zakaria, Soeyitno, M.O. Adnyana dan A.Ruskandar, 1996. *Dampak Sosial Ekonomi Penerapan PHT di Jawa Barat*. Balitpa Sukamandi, Maret 1996.



- Djauhuri, M. dan A. Djauhari. 1989. *Elastisitas Output dalam Usahatani Padi di Lahan Pasang Surut*. Penelitian Pertanian. Vol.9 (4). 1989.
- Erwidodo, 1984. *Beberapa Faktor Yang Mempengaruhi Tingkat Hasil Usahatani Padi Sawah di Wilayah Perum Otorita Jatiluhur*. Forum Penelitian Agro Ekonomi Vol 3 (1), Juli 1984.
- Gladwings, C.H. 1979. *Cognitive Strategies and Adoption Decisions a Case Study of Non Adoption of Agronomic Recommendation*. Econ. Dev. and Cult. Change. 28 (1) 155-174.
- Heytens, P. 1998. *Technical Change in Wetland Rice Agriculture*, dalam Scot Pearson, et al (ed) *Rice Policy in Indonesia*, Comel Univ. Press.
- Malian, A.H. dan A. Djauhari, 1989. *Efisiensi Produksi dan Sistem Distribusi Benih Unggul Kedelai di Jawa Tengah*, Penelitian Pertanian Vol.9 (2), 1989.
- Malian, A.H., A. Djulin dan M. Mardiharim, 1990. *Efisiensi Penggunaan Sarana Produksi Dalam Usaha Padi Sawah di Daerah Produksi Utama Propinsi Jawa Tengah*. Makalah Seminar, Puslitbangtan, 1990.
- Mosher, A.T. 1966. *Getting Agricultural Moving* Frederick.A. Praeger, New York.
- Ulveling, E.F. I.B. Fletche, 1970. *A Cobb-Douglas Production Function with Variable Returns to Scale* Amer j. Agric. Econ. Vol.52 (2), May 1970.

## Lampiran I.

## Model 1

$$\begin{aligned}
 1. \quad \text{Ln}Y_1 &= 6,4927 + 0,6254* \text{Ln} X_1 + 0,0156 \text{ I} \text{Ln} X_1 \\
 &\quad + 0,1913 \text{Ln} X_2 - 0,0112 \text{ I} \text{Ln} X_2 \\
 &\quad + 0,1086 \text{Ln} X_3 + 0,000099 \text{ I} \text{Ln} X_3
 \end{aligned}
 \quad \begin{aligned}
 \overline{R^2} &= 0,8182 \\
 R^2 &= 0,8299
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \quad \text{Ln}Y_2 &= 11,7693 + 0,8377* \text{Ln} X_1 - 0,0640 \text{ I} \text{Ln} X_1 \\
 &\quad + 0,2184 \text{Ln} X_2 - 0,0207 \text{ I} \text{Ln} X_2 \\
 &\quad + 0,0493 \text{Ln} X_3 + 0,0089 \text{ I} \text{Ln} X_3
 \end{aligned}
 \quad \begin{aligned}
 \overline{R^2} &= 0,7267 \\
 R^2 &= 0,7443
 \end{aligned}$$

## Model 2

$$\begin{aligned}
 1. \quad \text{Ln}Y_1 &= 6,0074 + 0,6401* \text{Ln} X_1 + 0,0041 \text{ I}^2 \text{Ln} X_1 \\
 &\quad + 0,2199* \text{Ln} X_2 - 0,0111 \text{ I}^2 \text{Ln} X_2 \\
 &\quad + 0,0899 \text{Ln} X_3 + 0,0037 \text{ I}^2 \text{Ln} X_3
 \end{aligned}
 \quad \begin{aligned}
 \overline{R^2} &= 0,8183 \\
 R^2 &= 0,8300
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \quad \text{Ln}Y_2 &= 11,6829 + 0,7533* \text{Ln} X_1 - 0,0118 \text{ I}^2 \text{Ln} X_1 \\
 &\quad + 0,2212 \text{Ln} X_2 - 0,0104 \text{ I}^2 \text{Ln} X_2 \\
 &\quad + 0,0562 \text{Ln} X_3 + 0,0043 \text{ I}^2 \text{Ln} X_3
 \end{aligned}
 \quad \begin{aligned}
 \overline{R^2} &= 0,7270 \\
 R^2 &= 0,7446
 \end{aligned}$$

## Model 3

$$\begin{aligned}
 1. \quad \text{Ln}Y_1 &= 6,3513 + 0,6474 \text{Ln} X_1 - 0,0724 \text{ I} \text{Ln} X_1 + 0,0377 \text{ I}^2 \text{Ln} X_1 \\
 &\quad - 1,6525* \text{Ln} X_2 + 1,7692* \text{I} \text{Ln} X_2 - 0,4107* \text{I}^2 \text{Ln} X_2 \\
 &\quad + 0,9494* \text{Ln} X_3 - 0,7952* \text{I} \text{Ln} X_3 + 0,1829* \text{I}^2 \text{Ln} X_3 \\
 &\quad \quad \quad \overline{R^2} = 0,8228 \quad R^2 = 0,8400
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \quad \text{Ln}Y_2 &= 11,8081 + 1,4655* \text{Ln} X_1 - 0,7742 \text{ I} \text{Ln} X_1 + 0,1898 \text{ I}^2 \text{Ln} X_1 \\
 &\quad - 1,2909 \text{Ln} X_2 + 1,5348* \text{I} \text{Ln} X_2 - 0,3807* \text{I}^2 \text{Ln} X_2 \\
 &\quad + 0,7096* \text{Ln} X_3 - 0,6729* \text{I} \text{Ln} X_3 + 0,1666* \text{I}^2 \text{Ln} X_3 \\
 &\quad \quad \quad \overline{R^2} = 0,7217 \quad R^2 = 0,7486
 \end{aligned}$$