

ANALISIS PRODUKSI PADI DI INDONESIA MENGGUNAKAN MODEL REGRESI ROBUST ESTIMASI M, ESTIMASI S DAN ESTIMASI MM

Febriani Astuti¹, Rokhana Dwi Bekti², Aurora Arianita Br Keliat³, Theodorina Inya Sebo⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Statistika, Fakultas Sains Terapan, Institut Sains dan Teknologi AKPRIND
Email: 1febriani@akprind.ac.id, 2rokhana@akprind.ac.id

Masuk: 5 September 2023, Revisi masuk: 10 September 2023, Diterima: 25 September 2023

ABSTRACT

Indonesia is an agricultural country where the majority of the population works in the agricultural sector with the main commodity being rice. In 2022 national rice production will reach 32.07 million tons. This number has increased by 0.72 million tons from 2021. The increase in rice production is directly proportional to the increase in harvested area and rice productivity in 2022. One method that can be used to analyze rice production in Indonesia is the multiple linear regression method. After testing, it turned out that there were outlier elements in the data so that using the multiple linear regression method would produce less accurate analysis. Therefore, a strong regression model is used which is resistant to outliers so that the analysis results are more accurate. The strong regression model that is commonly used is the strong regression model for M estimation, S estimation, and MM estimation. This research aims to analyze rice production in Indonesia using a strong regression model consisting of M estimates, S estimates and MM estimates. The strong estimation S regression model is the best model with the highest R^2 value, namely 99.94% and the lowest residual standard error value, namely 70210. The strong estimation S regression model formed is $\hat{Y} = -282400 + 5,140X_1 + 5863X_2$ and the influencing variables significant impacts on rice production in Indonesia are harvested area and rice productivity.

Keywords: Rice Production, Robust Regression, M Estimation, S Estimation, MM Estimation.

INTISARI

Indonesia merupakan negara agraris yang sebagian besar penduduknya bekerja di sektor pertanian dengan komoditas utama padi. Pada tahun 2022 produksi padi nasional mencapai 32,07 juta ton. Jumlah ini mengalami kenaikan sebesar 0,72 juta ton dari tahun 2021. Kenaikan produksi padi berbanding lurus dengan kenaikan luas panen dan produktivitas padi pada tahun 2022. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis produksi padi di Indonesia adalah metode regresi linear berganda. Setelah dilakukan pengujian ternyata ada unsur pencilan dalam data sehingga penggunaan metode regresi linear berganda akan menghasilkan analisis yang kurang akurat. Oleh karena itu digunakan model regresi robust yang tahan terhadap pencilan supaya hasil analisis lebih akurat. Model regresi robust yang umum digunakan yaitu model regresi robust estimasi M, estimasi S dan estimasi MM. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis produksi padi di Indonesia dengan menggunakan model regresi robust estimasi M, estimasi S dan estimasi MM. Model regresi robust estimasi S merupakan model terbaik dengan nilai R^2 tertinggi, yaitu sebesar 99,94% dan nilai standar eror residu terendah yaitu sebesar 70210. Model regresi robust estimasi S yang terbentuk yaitu $\hat{Y} = -282400 + 5,140X_1 + 5863X_2$ dan variabel yang berpengaruh signifikan terhadap produksi padi di Indonesia adalah luas panen dan produktivitas padi.

Kata-kata Kunci: Produksi Padi, Regresi Robust, Estimasi M, Estimasi S, Estimasi MM.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris dengan komoditas utama padi. Hal ini tidak terlepas dari makanan pokok penduduk Indonesia yaitu nasi. Berdasarkan data dari

Badan Pusat Statistik (BPS), produksi padi nasional pada tahun 2022 mencapai 32,07 juta ton. Jumlah ini mengalami kenaikan sebesar 0,72 juta ton dari tahun 2021. Kenaikan produksi padi ini berbanding lurus

dengan kenaikan luas panen dan produktivitas padi (Astuti, 2023). Di tahun 2022, luas panen padi di Indonesia sebesar 10,45 juta hektar. Dengan kata lain ada kenaikan sebesar 40,87 hektar atau setara 0,39 persen dibandingkan tahun 2021. Hal yang sama juga berlaku untuk produktivitas padi, BPS mencatat tahun 2022 produktivitas padi mencapai 52,38 kuintal/hektar (ku/ha), atau naik sebesar 0,23 persen dibanding tahun sebelumnya. Fenomena kenaikan produksi padi dan beberapa faktor pendukung lainnya membuat Indonesia mendapat penghargaan dari *International Rice Research Institute (IRRI)* karena mampu berswasembada beras dan memenuhi kebutuhan masyarakat lebih dari 20 persen.

Data produksi padi dengan dua faktor utamanya yaitu luas panen dan produktivitas menjadi bahan yang menarik untuk dikaji lebih dalam, khususnya data terkini tahun 2022 (Astuti, 2023). Metode yang dapat digunakan untuk menganalisis produksi padi salah satunya adalah metode regresi linear. Analisis regresi adalah metode analisis data yang memanfaatkan hubungan antara dua variabel atau lebih. Variabel yang dimaksud yaitu variabel dependen dan independen. Jika Y variabel dependen dan X_1, X_2, \dots, X_k variabel independen, maka model regresi linear secara umum dapat dinyatakan sebagai $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i$ dengan $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ adalah parameter-parameter regresi dan ε_i adalah sisaan yang berdistribusi normal dengan mean nol dan variansi konstan (Sembiring, 2003). Jika aturan normalitas tidak terpenuhi dan data mengandung pencilan, maka dapat menyebabkan hasil analisis menjadi tidak akurat. Pemilihan metode yang sesuai dengan kondisi data sangat diperlukan untuk mendapatkan hasil analisis yang tepat. Alternatif metode yang digunakan untuk menangani masalah pencilan dan data yang tidak normal adalah metode regresi robust.

Regresi robust adalah regresi yang digunakan ketika distribusi dari residu tidak normal atau adanya beberapa pencilan yang berpengaruh pada model (Chen, 2002). Terdapat beberapa estimasi dalam regresi robust, diantaranya estimasi S, estimasi M, estimasi MM, estimasi GM, estimasi GS dan lain sebagainya. Regresi robust dengan metode estimasi GM merupakan pengembangan dari metode estimasi M,

ketika estimasi M kurang sensitif terhadap pencilan. M (Kurniawan et al., 2023).

Estimasi M merupakan estimasi pada regresi robust yang paling sederhana dan sering digunakan. Estimasi M merupakan salah satu metode dalam regresi robust untuk mengestimasi parameter yang disebabkan oleh data pencilan. Estimasi ini dikatakan "tipe maksimum likelihood" karena mempunyai sifat tak bias dan variansi minimum (Gasul, et al., 2023). Sebagaimana pada estimasi M, estimasi MM menggunakan *Iteratively Reweighted Least Squares (IRLS)* untuk mencari estimasi parameter (Pradewi dan Sudarno, 2012).

Data produksi padi di Indonesia umumnya mengandung pencilan dan melanggar aturan normalitas. Jika data dianalisis menggunakan analisis regresi maka hasilnya tidak akurat. Oleh karena itu penggunaan regresi robust dapat digunakan untuk mendapatkan hasil analisis yang optimal. Penelitian Rasantaka, et al. (2022) menggunakan regresi robust estimasi S, M dan MM sehingga diperoleh kesimpulan bahwa faktor yang mempengaruhi produksi padi yaitu luas panen dan produksi benih. Berbeda halnya dengan Gasul, et al. (2023) yang melakukan penelitian dengan estimasi M, estimasi S dan estimasi MM untuk produksi beras di Nusa Tenggara Timur dan Astuti (2023) yang menggunakan estimasi M pada produksi padi di Indonesia. Pada penelitian ini akan digunakan estimasi M, estimasi S dan estimasi MM untuk mengestimasi produksi padi di Indonesia tahun 2022.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif menggunakan metode regresi robust estimasi M, estimasi S dan estimasi MM untuk mengestimasi produksi padi di Indonesia tahun 2022. Variabel yang digunakan yaitu produksi padi (Y), luas panen (X_1) dan produktivitas padi (X_2) yang diambil dari website resmi BPS.

Langkah Analisis Data

Langkah analisis data dalam penelitian ini diberikan sebagai berikut:

1. menentukan data banyaknya produksi padi pada tiap provinsi di Indonesia sebagai variabel dependen (Y),
2. menentukan variabel independen (X) sebagai berikut

- a. luas panen (X_1),
- b. produktivitas (X_2),
3. menentukan model regresi menggunakan analisis regresi berganda,
4. menguji asumsi klasik,
5. menguji adanya data pencilan,
6. melakukan analisis regresi menggunakan regresi robust estimasi M, estimasi S dan estimasi MM.

Regresi Linear dengan Metode Kuadrat Terkecil

Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan atau mengestimasi parameter dari suatu model regresi adalah Metode Kuadrat Terkecil. Metode Kuadrat Terkecil bertujuan untuk mengestimasi parameter model regresi dengan meminimumkan jumlah kuadrat residual yang merupakan nilai dari pengamatan variabel dependen. Adapun fungsi minimum dari Metode Kuadrat Terkecil sebagai berikut (Maharani, et al., 2014):

$$\min \sum_{i=1}^n e_i^2 = \min \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

Estimasi M

Estimasi M (*Maximum Likelihood Type*) yang diperkenalkan oleh Huber (1981) adalah metode yang sederhana baik dalam penghitungan maupun secara teoritis. Penduga ini menganalisis data dengan mengestimasi bahwa sebagian besar yang teridentifikasi sebagai pencilan ada pada variabel independen (Utomo, et al., 2022). Bentuk estimasi M diberikan sebagai berikut:

$$\hat{\beta}_M = \min \beta \sum_{i=1}^n \rho(e_i^*) \quad (2)$$

dengan,

- ρ : fungsi objektif
 e_i^* : eror yang distandarisasi.

Tahap-tahap analisis data pada estimasi M yaitu:

1. mengestimasi β dengan Metode Kuadrat Terkecil,
2. menghitung nilai sisaan, $e_i = y_i - \hat{y}_i$,
3. menghitung nilai skala regresi robust estimasi M, $\hat{\sigma}$

$$MAD = \text{median} | e_i - \text{median}(e_i) |$$

- $\hat{\sigma} = 1,5 \times MAD$,
4. menghitung nilai residual (Ui)
 $U_i = \frac{e_i}{\hat{\sigma}}$,
 5. mendefinisikan fungsi pembobot $w_i = w(U_i)$, dengan metode Tukey Bisquare
$$w_M = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{u_i}{4,685}\right)^2\right]^2, & |u_i| \leq 4,685 \\ 0, & |u_i| > 4,685 \end{cases}$$
 6. memperbaiki estimasi $\hat{\beta}$ berdasarkan *Weighted Least Squares (WLS)* dengan pembobot w_i sehingga diperoleh $\hat{\beta}$ baru pada iterasi ke 1,
 7. mengulangi tahap 2-6 sehingga diperoleh $\hat{\beta}$ yang konvergen,
 8. mencari model terbaik berdasarkan iterasi paling sedikit.

Estimasi S

Estimasi S (*Scale*) dapat digunakan ketika terdapat masalah data terkontaminasi pencilan pada variabel X sehingga pada estimasi M tidak mampu mengidentifikasi *bad observation*. Berikut bentuk persamaan dari estimasi S (Chen, 2002):

$$\hat{\beta}_S = \min \hat{\sigma}(e_1, e_2, \dots, e_n) \quad (3)$$

dengan,

- ρ : fungsi objektif
 $\hat{\sigma}$: estimator skala robust
 e_1, e_2, \dots, e_n : eror yang distandarisasi.

Tahap-tahap analisis data pada estimasi S yaitu:

1. mengestimasi β dengan Metode Kuadrat Terkecil,
2. menghitung nilai sisaan, $e_i = y_i - \hat{y}_i$,
3. menghitung nilai skala regresi robust estimasi S, $\hat{\sigma}$

$$\hat{\sigma}_S = \sqrt{\frac{1}{nk} \sum_{i=1}^n w_i e_i^2}, \quad (4)$$

4. menghitung nilai residual (Ui)
 $U_i = \frac{e_i}{\hat{\sigma}_S}$,
5. mendefinisikan fungsi pembobot w_i
$$w_S = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{u_i}{1,547}\right)^2\right]^2, & |u_i| \leq 1,547 \\ 0, & |u_i| > 1,547 \end{cases}$$
6. mengestimasi parameter $\hat{\beta}_S$ berdasarkan *Weighted Least Squares (WLS)* dengan pembobot w_i sehingga diperoleh $\hat{\beta}$ baru pada iterasi ke 1,
7. mengulangi tahap 2-6 sehingga diperoleh $\hat{\beta}$ yang konvergen,

- mencari model terbaik berdasarkan iterasi paling sedikit.

Estimasi MM

Estimasi MM (*Method of Moment*) merupakan gabungan dari estimasi S dan estimasi M, dimana estimasi S digunakan untuk menentukan estimator dan estimasi M digunakan dalam menentukan parameter-parameter model regresi. Bentuk estimasi MM sebagai berikut (Yohai, 1987):

$$\hat{\beta}_{MM} = \min \beta \sum_{i=1}^n \rho(e_i^*)$$

$$\hat{\beta}_{MM} = \min \beta \sum_{i=1}^n \rho \left(\frac{y_i - \sum_{j=0}^k x_{ij} \beta_{ij}}{\hat{\sigma}} \right) \quad (5)$$

dengan,

- ρ : fungsi objektif
- $\hat{\sigma}$: estimator skala robust
- e_i^* : eror yang distandarisasi.

Tahap-tahap analisis data pada estimasi MM yaitu:

- mengestimasi β dengan Metode Kuadrat Terkecil,
- menghitung nilai sisaan, $e_i = y_i - \hat{y}_i$ dari estimasi S,
- menghitung nilai skala regresi robust estimasi MM, $\hat{\sigma}$
 $MAD = \text{median} | e_i - \text{median}(e_i) |$
 $\hat{\sigma} = 1,5 \times MAD,$ (6)
- menghitung nilai residual (U_i)
 $U_i = \frac{e_i}{\hat{\sigma}},$
- mendefinisikan fungsi pembobot $w_i = w(U_i)$, dengan metode Tukey Bisquare
 $w_{MM} = \begin{cases} (1 - (\frac{u_i}{4,685})^2)^2, & |u_i| \leq 4,685 \\ 0 & , |u_i| > 4,685 \end{cases}$
- memperbaiki estimasi $\hat{\beta}$ berdasarkan *Weighted Least Squares (WLS)* dengan pembobot w_i sehingga diperoleh $\hat{\beta}$ baru pada iterasi ke 1,
- mengulangi tahap 2-6 sehingga diperoleh $\hat{\beta}$ yang konvergen,
- mencari model terbaik berdasarkan iterasi paling sedikit.

PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan mengestimasi koefisien regresi dengan Metode Kuadrat Terkecil (MKT), melakukan

uji asumsi klasik, mendeteksi pencilan, dan melakukan analisis regresi robust dengan estimasi M, estimasi S dan estimasi MM.

Statistika Deskriptif

Dari data sekunder yang sudah disampaikan sebelumnya, akan ditampilkan statistika deskriptif dalam tabel berikut.

Tabel 1. Statistika Deskriptif Variabel Penelitian

Variabel	Minimum	Maksimum	Rata-rata	Jumlah Data
Y	507	9526516	1610264	34
X ₁	179	1693211	307432	34
X ₂	28,24	60,59	45,82	34

Model Regresi Linear Berganda

Pada penelitian ini menggunakan data produksi padi, luas panen dan produktivitas padi di Indonesia tahun 2022. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui estimasi hubungan antara produksi padi terhadap luas panen dan produktivitas padi di Indonesia dengan menggunakan metode regresi *robust* estimasi M, estimasi S dan estimasi MM. Untuk melihat hubungan ketiganya, penulis menggunakan model regresi linier berganda.

Hasil estimasi model regresi diberikan sebagai berikut,

$$\hat{Y} = -480789 + 5,5317 X_1 + 8521 X_2$$

hasil analisis regresi di atas mengartikan bahwa:

- setiap kenaikan 1 hektar luas panen (X_1) mengakibatkan kenaikan produksi padi (Y) sebesar 5,5317 ton,
 - setiap kenaikan 1 kuintal per hektar produktivitas padi (X_2) mengakibatkan kenaikan produksi padi (Y) sebesar 8521 ton.
- Selanjutnya output dari estimasi parameter diberikan di Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Output Estimasi Parameter

	Estimasi	t value	Pr (> t)
Intersep	-480789	-3,166	0,00346 **
X ₁	5,5317	92,001	< 0,000 ***
X ₂	8521	2,461	0,01961 *
Standar Error Residu = 142100			
$R^2 = 0,9974$			

Dari output tersebut diketahui bahwa semua parameter signifikan masuk ke dalam model regresi. Hal ini dapat dilihat dari nilai p-value yang ditampilkan pada kolom terakhir yang menunjukkan nilai kurang dari alpha 5%.

Uji Asumsi Klasik

Uji asumsi klasik merupakan syarat statistik yang harus dipenuhi analisis regresi linear berganda yang berbasis Metode Kuadrat Terkecil. Selain itu, untuk mendapatkan model regresi linear berganda terbaik harus memenuhi kriteria *Best Linear Unbiased Estimator* (BLUE). BLUE dapat dicapai jika memenuhi asumsi klasik. Adapun uji asumsi klasik yang digunakan antara lain uji normalitas residu, uji asumsi non multikolinearitas, homoskedastisitas dan non autokorelasi. Hasil dari uji asumsi klasik diberikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Asumsi Klasik

Asumsi	Hasil Keputusan
Normalitas Residu	Terpenuhi
Non Multikolinearitas	Terpenuhi
Homoskedastisitas	Tidak Terpenuhi
Non Autokorelasi	Tidak Terpenuhi

Deteksi Pencilan

Berdasarkan statistik uji untuk mengetahui pencilan terhadap X dengan menghitung nilai h_{ii} , dapat ditarik kesimpulan bahwa pengamatan menolak H_0 apabila nilai $h_{ii} > \frac{2p}{n} = 0.117647$. Dari pengujian yang sudah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa terdapat pencilan data ke-10, 12, 13, 15, 17, 20 dan 21.

Tabel 4. Nilai h_{ii}

No.	h_{ii}
1	0,089534
2	0,040348
3	0,044529
4	0,039718
5	0,040485
6	0,059197
7	0,056902
8	0,045484
9	0,044426
10	0,172155
11	0,062556
12	0,271057
13	0,284293
14	0,060218
15	0,283614

No.	h_{ii}
16	0,058211
17	0,196463
18	0,070536
19	0,038355
20	0,162624
21	0,123701
22	0,058464
23	0,064501
24	0,075815
25	0,039273
26	0,032089
27	0,099739
28	0,041885
29	0,074539
30	0,06856
31	0,05291
32	0,055869
33	0,041732
34	0,050218

Model Regresi Robust dengan Estimasi M

Proses perhitungan estimasi M yang iteratif dimulai dengan menentukan estimasi awal koefisien regresi, yang diperoleh dari MKT yaitu $\hat{\beta}^0 = (-13608; 6.15; 222)$ kemudian berdasarkan algoritma estimasi M, dihitung nilai \hat{y}_i^0 dan sisa $\hat{e}_i^0 = y_i - \hat{y}_i^0$. Proses iterasi menggunakan MKT terboboti dilanjutkan dengan menghitung sisaan dan pembobot $w(u_i)$ yang baru dan dilakukan pendugaan parameter secara berulang-ulang sampai konvergen. Kekonvergenan tercapai jika koefisien regresi sudah sama dengan koefisien regresi sebelumnya (Yohai, 1987).

Tabel 5. Output Estimasi M

	Estimasi	t value	Pr (> t)
Intersep	- 242345	-2,20	0,036 *
X_1	5,599	134,98	< 0,000 ***
X_2	3556	1,44	0,160
Standar Error Residu = 89120			
$R^2 = 0,998$			

Berdasarkan hasil tersebut koefisien X_2 tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap Y, dengan demikian model yang terbentuk dari estimasi M adalah

$$\hat{Y} = - 242345 + 5,599X_1.$$

Hasil koefisien determinasi (R^2) sebesar 99,8% menunjukkan bahwa sebesar 99,8% produksi padi di Indonesia tahun 2022 dapat dijelaskan oleh variabel luas panen dan produktivitas padi, sisanya sebesar 0,2% dapat dijelaskan oleh variabel lain. Nilai standar eror residu dari estimasi M sebesar 89120, nilai ini jauh lebih kecil dibanding nilai standar eror residu pada MKT.

Model Regresi Robust dengan Estimasi S

Estimasi S menggunakan nilai residual dari estimasi M sehingga estimasi ini dilakukan setelah estimasi M (Gasul, et al., 2023). Hasil output estimasi parameter estimasi S dapat diperlihatkan di Tabel 6.

Tabel 6. Output Estimasi S

	Estimasi	t value	Pr (> t)
Intersep	- 282400	-3,307	0,00239 **
X_1	5,140	105,553	< 0,000 ***
X_2	5863	3,131	0,00378 **
Standar Eror Residu = 70210			
$R^2 = 0,9994$			

Berdasarkan hasil pada Tabel 6 dapat diketahui bahwa koefisien X_1 dan X_2 memberikan pengaruh signifikan terhadap Y , dengan demikian model yang terbentuk dari estimasi S adalah

$$\hat{Y} = - 282400 + 5,140X_1 + 5863X_2.$$

Hasil koefisien determinasi (R^2) sebesar 99,94% menunjukkan bahwa sebesar 99,94% produksi padi di Indonesia tahun 2022 dapat dijelaskan oleh variabel luas panen dan produktivitas padi, sisanya sebesar 0,06% dapat dijelaskan oleh variabel lain. Nilai standar eror residu dari estimasi S sebesar 70210. Nilai ini lebih kecil dari standar eror residu pada estimasi M dan MKT.

Model Regresi Robust dengan Estimasi MM

Estimasi awal untuk mengestimasi parameter β_i pada regresi robust estimasi MM diperoleh dari regresi robust estimasi S. Iterasi berhenti apabila telah didapatkan nilai β_i yang konvergen. Dari output software R diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 7. Output Estimasi MM

	Estimasi	t value	Pr (> t)
Intersep	- 376700	-2,740	0,0101 *
X_1	5,123	140,431	< 0,000 ***
X_2	7812	2,748	0,0099 **
Standar Eror Residu = 70210			
$R^2 = 0,997$			

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa koefisien X_1 dan X_2 memberikan pengaruh signifikan terhadap Y , dengan demikian model yang terbentuk dari estimasi MM adalah

$$\hat{Y} = - 376700 + 5,123X_1 + 7812X_2.$$

Hasil koefisien determinasi (R^2) sebesar 99,7% menunjukkan bahwa sebesar 99,7% produksi padi di Indonesia tahun 2022 dapat dijelaskan oleh variabel luas panen dan produktivitas padi, sisanya sebesar 0,3% dapat dijelaskan oleh variabel lain. Nilai standar eror residu dari estimasi MM sebesar 70210. Nilai ini sama dengan standar eror residu pada estimasi S.

Pemilihan Model Regresi Robust Terbaik

Pemilihan model regresi robust terbaik dapat dilihat dari hasil koefisien determinasi (R^2) dan nilai standar eror residu. Koefisien determinasi menunjukkan seberapa besar atau penting kontribusi pengaruh yang diberikan variabel independen secara bersama-sama terhadap variabel dependen. Semakin tinggi nilai R^2 berarti semakin baik model prediksi yang dibentuk. Sedangkan nilai eror residu menunjukkan kesalahan kakuratan model dalam memprediksi variabel dependen. Semakin kecil nilai standar eror residu berarti model semakin akurat memprediksi variabel dependen.

Model regresi robust dikatakan terbaik dari yang lain apabila memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) paling tinggi dari model regresi robust lainnya, serta menghasilkan standar eror residu yang paling kecil.

Berdasarkan pengujian sebelumnya dengan menggunakan regresi linear berganda dengan MKT dan regresi robust estimasi M, estimasi S dan estimasi MM, diperoleh hasil analisis yang ditampilkan dalam tabel 8.

Tabel 8. Pemilihan Model Terbaik

Estimasi	R ²	Std Error	Model Regresi
MKT	99,74%	142100	$\hat{Y} = -480789 + 5,5317 X_1 + 8521 X_2$
M	99,80%	89120	$\hat{Y} = -242345 + 5,599X_1$
S	99,94%	70210	$\hat{Y} = -282400 + 5,140X_1 + 5863X_2$
MM	99,70%	70210	$\hat{Y} = -376700 + 5,123X_1 + 7812X_2$

Dari Tabel 8 terlihat bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) paling tinggi dihasilkan oleh model regresi robust estimasi S sebesar 99,94%. Jika dilihat dari nilai standar eror residu maka diperoleh estimasi S dan estimasi MM memiliki standar eror residu paling kecil yaitu sebesar 70210, sedangkan regresi linear berganda memiliki standar eror residu terbesar yaitu sebesar 142100. Besarnya nilai standar eror residu ini dipengaruhi oleh adanya pencilan pada data.

Berdasarkan hasil tersebut, maka model terbaik dari empat model yang digunakan adalah model regresi robust estimasi S dengan persamaan sebagai berikut:

$$\hat{Y} = -282400 + 5,140X_1 + 5863X_2$$

Dari persamaan regresi tersebut dapat dijelaskan bahwa:

1. setiap kenaikan 1 hektar luas panen (X_1) maka produksi padi (Y) akan bertambah sebesar 5,140 ton,
2. setiap kenaikan 1 kuintal per hektar produktivitas padi (X_2) maka akan menambah produksi padi (Y) sebesar 5863 ton.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Model regresi robust dengan estimasi M adalah sebagai berikut:
 $\hat{Y} = -242345 + 5,599X_1$.
Variabel yang berpengaruh signifikan terhadap produksi padi adalah luas panen, sedangkan produktivitas padi tidak. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan sebesar 99,8% dengan standar eror residu sebesar 89120.
2. Model regresi robust dengan estimasi S adalah sebagai berikut:
 $\hat{Y} = -282400 + 5,140X_1 + 5863X_2$.

Variabel yang berpengaruh signifikan terhadap produksi padi adalah luas panen dan produktivitas padi. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan sebesar 99,94% dengan standar eror residu sebesar 70210.

3. Model regresi robust dengan estimasi MM adalah sebagai berikut:
 $\hat{Y} = -376700 + 5,123X_1 + 7812X_2$.
Variabel yang berpengaruh signifikan terhadap produksi padi adalah luas panen dan produktivitas padi. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan sebesar 99,7% dengan standar eror residu sebesar 70210.
4. Model terbaik adalah model regresi robust estimasi S karena memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) paling tinggi dan nilai standar eror residu paling rendah dibandingkan model regresi linear berganda dengan MKT, model regresi robust estimasi M dan MM.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, Febriani. 2022. Estimasi Hubungan Antara Produksi Padi Terhadap Luas Panen dan Produktivitas Padi di Indonesia dengan Menggunakan Metode Regresi Robust Estimasi-M. *Jurnal Statistika Industri dan Komputasi*. Vol. 8, NO. 2, Juli, 2022, Hal 33-39
- Chen, Colin. 2002. Robust Regression and Outlier Detection With The ROBUSTREG Procedure, *Sugi Paper* 265-270, SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Draper, N.R. and Smith, H. 1998. *Applied Regression Analysis Third Edition*. Willey Interscience Publication, United States.
- Gasul, K., K., Atti, A., dan Kleden, M., A. 2023. Model Regresi Robust dengan Metode Estimasi M, Estimasi S dan Estimasi MM untuk Produksi Beras di Nusa Tenggara Timur. *Estimasi*, Vol. 4, No. 1, Januari, 2023, Hal. 20-32

- Gujarati, Damodar. 1978. *Ekonometrika Dasar*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Huber PJ. 1981. *Robust Statistics*. New York (NY): John Wiley And Sons. Inc.
- Kurniawan, A., Susanti, Y., dan Pratiwi, H. 2023. Pemodelan Produksi Padi di Indonesia Menggunakan Regresi Robust Estimasi Generalized M. *Prosiding Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika Volume 7*.
- Lin TI, Lee JC, Hsieh WJ. 2007. Robust mixture modeling using the skew t-distribution. *Statistics and Computing*. 17(2): 81-92.
- Maharani, I. F., Satyahadewi, N. & Kusnandar, D., 2014. Metode Ordinary Least Squares dan Least Trimmed Squares Dalam Mengestimasi Parameter Regresi Ketika Terdapat Outlier. *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika dan Terapannya*, Volume 3(03), pp. 163-168.
- Montgomery, D. C and Peck, E. A. 1992. *Introduction to Linear Regression Analysis Second Edition*. John Willey & Sons, Inc, New York.
- Pradewi, E. D. dan Sudarno. 2012. Kajian Estimasi- M IRLS Menggunakan Fungsi Pembobot Huber dan Bisquare Tukey pada data Ketahanan Pangan di Jawa Tengah. pp. 1–10.
- Rasantaka, M., P., R., Ashshidiqi, M., F., Yulianti, R., Zeinawaqi, Z. dan Widodo, E. 2022. Implementasi Regresi Robust untuk Mengetahui Faktor-Faktor yang Memengaruhi Produksi Padi di Indonesia. *Jurnal Statistika dan Aplikasinya*. No. 2, Vol. 6, 234-242.
- Sembiring, R.K. 2003. *Analisis Regresi*. Penerbit ITB, Bandung.
- Utomo , A.T., Erfiani, dan Fitrianto, A. 2022. Analisis Ridge Robust Penduga Generalized M (GM) Pada Pemodelan Kalibrasi Untuk Kadar Gula Darah. *Variansi*, Vol. 4, No. 2, Hal. 59-69
- Yohai, V.J. 1987. High Breakdown Point and High Efficiency Robust Estimates for Regression, *Annals of Statistics*, Vol. 15, No. 20, pp. 642-656.

BIODATA PENULIS

Febriani Astuti, S.Si., M.Sc., lahir di Klaten, telah menyelesaikan pendidikan S1 pada bidang ilmu Matematika dari Universitas Sebelas Maret tahun 2015, S2 bidang ilmu Matematika dari Universitas Gadjah Mada tahun 2018. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap di Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta pada bidang peminatan Statistika.