

Perbandingan Regresi Robust Estimasi M dengan Pembobot Andrew, Tukey Bisquare dan Huber pada Data Realisasi Penanaman Modal Asing Tahun 2023

Comparison of Robust Regression M-Estimation with Andrew, Tukey Bisquare, and Huber Weights on Foreign Direct Investment (FDI) Realization Data in 2023

Syifa Aulia Sakinah¹, Prizka Rismawati Arum¹, Tiani Wahyu Utami¹

¹ Universitas Muhammadiyah Semarang, Kota Semarang

Corresponding author: sakinahsyfaa@gmail.com

Abstrak

Latar belakang : Penanaman Modal Asing (PMA) berperan penting dalam pertumbuhan ekonomi Indonesia, namun distribusinya antarprovinsi masih timpang sehingga memunculkan pencilan pada data. **Metode :** Kondisi ini membuat metode Ordinary Least Squares (OLS) kurang tepat digunakan. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini menerapkan regresi robust estimasi M dengan tiga pembobot, yaitu Andrew, Tukey Bisquare, dan Huber. Data yang digunakan berupa realisasi PMA 2023 di 38 provinsi dengan variabel prediktor PDRB, rasio pajak, UMP, panjang infrastruktur jalan, dan TPT. Analisis dilakukan melalui estimasi OLS, uji asumsi klasik, deteksi pencilan menggunakan DFFITS, serta perbandingan model robust M menggunakan algoritma IRLS. **Hasil penelitian :** Hasil penelitian menunjukkan bahwa OLS tidak memenuhi asumsi normalitas dan homoskedastisitas, serta teridentifikasi pencilan signifikan. Perbandingan model robust memperlihatkan bahwa pembobot Huber menghasilkan performa terbaik dengan Adjusted R² sebesar 0,5716 dan MSE sebesar 6.844.128. **Kesimpulan :** Model akhir menunjukkan bahwa PDRB dan rasio pajak berpengaruh positif terhadap PMA, sedangkan infrastruktur jalan berpengaruh negatif. Dengan demikian, regresi robust estimasi M dengan pembobot Huber merupakan metode yang lebih tepat untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi PMA pada data yang mengandung pencilan.

Kata Kunci : regresi robust, estimasi m, pma, pembobot huber, pencilan

Abstract

Background : Foreign Direct Investment (FDI) plays a crucial role in Indonesia's economic growth, yet its distribution across provinces remains unequal, leading to outliers in the data. **Method :** Such conditions make the Ordinary Least Squares (OLS) method less appropriate. To address this issue, this study applies robust regression with M-estimation using three weighting functions: Andrew, Tukey Bisquare, and Huber. The dataset consists of 2023 FDI realization across 38 provinces with predictor variables including Gross Regional Domestic Product (GRDP), tax ratio, minimum wage, road infrastructure, and unemployment rate. The analysis was conducted through OLS estimation, classical assumption tests, outlier detection using DFFITS, and robust regression modeling via the Iteratively Reweighted Least Squares (IRLS) algorithm.

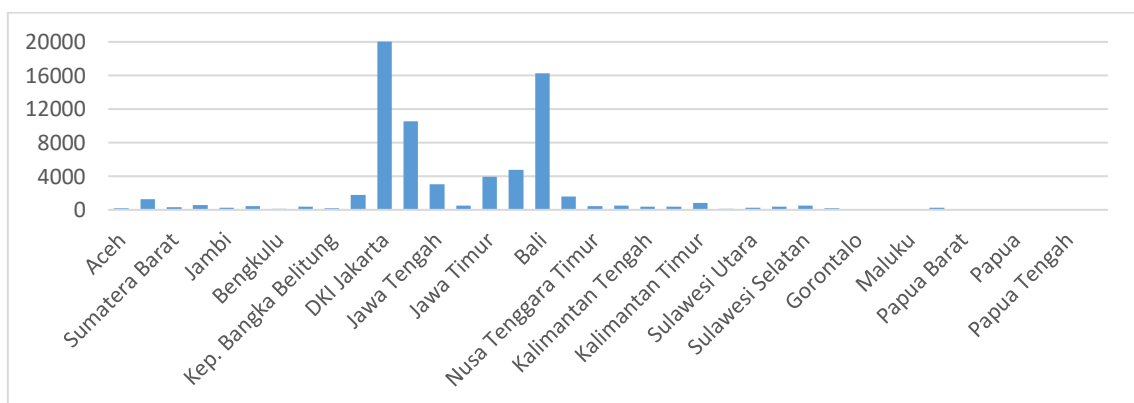
Result : The results show that OLS violated the assumptions of normality and homoscedasticity, with significant outliers identified. The comparison of robust models indicates that the Huber weight provides the best performance, yielding the highest Adjusted R^2 (0.5716) and the lowest Mean Squared Error (MSE) of 6,844,128. **Conclusion :** The final model reveals that GRDP and tax ratio positively affect FDI, while road infrastructure has a negative effect. Therefore, robust regression with Huber weighting is more suitable for analyzing factors influencing FDI when data contain outliers.

Keywords : Robust Regression, M-Estimation, FDI, Huber Weight, Outliers

PENDAHULUAN

Investasi memiliki peran penting dalam mendorong pertumbuhan ekonomi suatu negara. Investasi dapat meningkatkan kapasitas produksi, menciptakan lapangan kerja, serta mendorong perkembangan teknologi dan inovasi. Indonesia sebagai negara berkembang memiliki potensi besar dalam menarik investasi asing berkat sumber daya alam yang melimpah, pasar domestik yang luas, serta kebijakan ekonomi yang semakin terbuka. Salah satu bentuk investasi yang berperan signifikan adalah Penanaman Modal Asing (PMA) [1].

PMA berkontribusi pada peningkatan daya saing industri, alih teknologi, dan percepatan pembangunan. Namun, distribusi PMA di Indonesia masih menunjukkan ketimpangan yang cukup besar antarprovinsi. Data Badan Koordinasi Penanaman Modal (BKPM) tahun 2023 mencatat bahwa DKI Jakarta menempati posisi tertinggi dengan nilai investasi sebesar 20.028 juta USD, sedangkan Papua Tengah menjadi provinsi dengan nilai terendah yaitu hanya 37 juta USD. Perbedaan ekstrem ini mencerminkan adanya ketimpangan spasial yang dipengaruhi oleh faktor-faktor struktural seperti infrastruktur, daya tarik pasar, kebijakan fiskal, hingga kualitas sumber daya manusia [2]. Berikut grafik realisasi PMA di Indonesia tahun 2023:



Gambar 1. Grafik Realisasi Investasi PMA di Indonesia Tahun 2023

Ketimpangan tersebut menimbulkan tantangan metodologis ketika dianalisis dengan regresi linier, terutama karena adanya pencilan (*outlier*). Pencilan dapat menyebabkan hasil estimasi menjadi bias, mengingat metode klasik *Ordinary Least*

Squares (OLS) sangat sensitif terhadap nilai ekstrem [3]. OLS berusaha meminimalkan jumlah kuadrat error, sehingga satu pencilan saja dapat menarik garis regresi menjauh dari pola mayoritas data dan membuat model kurang akurat. Oleh karena itu, dibutuhkan metode alternatif yang lebih tahan terhadap pencilan maupun pelanggaran asumsi klasik [4].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi kelemahan OLS adalah regresi *robust*. Metode ini dirancang untuk menghasilkan estimasi yang tetap stabil meskipun terdapat pencilan maupun pelanggaran asumsi klasik, seperti distribusi normal error atau homogenitas varians [5]. Dari beberapa pendekatan regresi *robust*, estimasi M menjadi salah satu yang paling banyak digunakan karena relatif sederhana dan mudah diterapkan. Prinsip utamanya adalah mengurangi pengaruh pencilan dengan memberikan bobot berbeda di setiap sisaan [6].

Dalam penelitian ini digunakan tiga fungsi pembobot pada estimasi M, yaitu *Andrew*, *Tukey Bisquare*, dan *Huber*. Pembobot *Andrew* menurunkan bobot residual besar secara bertahap melalui fungsi sinusoidal, sedangkan *Tukey Bisquare* lebih tegas dengan memberikan bobot nol pada pencilan ekstrem [7]. Sementara itu, pembobot *Huber* bekerja secara proporsional dengan memberikan bobot penuh pada residual kecil dan menurunkan bobot untuk residual besar hingga batas tertentu. Perbedaan karakteristik ini menjadikan ketiganya relevan untuk dibandingkan guna menentukan pembobot yang paling efektif menghasilkan model regresi yang stabil [8].

Sejumlah penelitian sebelumnya menunjukkan hasil yang berbeda terkait efektivitas pembobot regresi *robust* M. Penelitian yang dilakukan oleh Deria (2019) menemukan bahwa pembobot *Andrew* memberikan model terbaik berdasarkan nilai *Adjusted R²* dan MSE pada data kemiskinan di Jawa Tengah [9]. Penelitian lainnya dilakukan oleh Azizah & Wachidah (2022) mendapatkan bahwa pembobot *Tukey Bisquare* lebih unggul dibanding *Huber* berdasarkan *Adjusted R²* dan RSE pada data tingkat pengangguran di Indonesia [10]. Namun, Damayanti & Susanti (2024) justru menyimpulkan bahwa *Huber* lebih baik daripada *Tukey* dengan nilai *Adjusted R²* yang lebih tinggi dan RSE yang lebih rendah pada data kemiskinan di Indonesia [11]. Temuan yang berbeda ini menegaskan bahwa efektivitas pembobot sangat dipengaruhi oleh karakteristik data.

Hingga saat ini, belum ada penelitian yang secara khusus membandingkan pembobot *Andrew*, *Tukey Bisquare*, dan *Huber* pada regresi *robust* estimasi M dengan penerapan pada data realisasi PMA antarprovinsi di Indonesia. Padahal, data PMA cenderung memiliki ketimpangan tinggi antarwilayah serta mengandung pencilan signifikan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan ketiga pembobot tersebut dalam menghasilkan model regresi *robust* yang lebih akurat dan tahan terhadap pencilan, kemudian menentukan pembobot terbaik yang dapat digunakan, serta mengidentifikasi variabel-variabel yang berpengaruh terhadap PMA di Indonesia.

METODE

Data dan Variabel

Penelitian ini menggunakan data sekunder realisasi Penanaman Modal Asing (PMA) pada 38 provinsi di Indonesia tahun 2023 yang diperoleh dari Badan Koordinasi Penanaman Modal (BKPM). Variabel terikat (Y) adalah nilai realisasi PMA (dalam juta USD). Variabel bebas terdiri dari Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) sebagai X_1 , Rasio Pajak sebagai X_2 , Upah Minimum Provinsi (UMP) sebagai X_3 , panjang jalan sebagai indikator infrastruktur sebagai X_4 , serta Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) sebagai X_5 . Data bersifat *cross-section* dengan satu periode observasi.

Model Regresi

Model dasar penelitian ini mengikuti bentuk umum regresi linier:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \dots + \beta_p x_{pi} + \varepsilon_i$$

Dengan y_i adalah realisasi PMA pada provinsi ke- i , x_{pi} variabel bebas, β_j parameter regresi, dan ε_i error. Namun, pendekatan OLS memiliki kelemahan karena sensitif terhadap pencilan dan pelanggaran asumsi klasik. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan regresi *robust* estimasi M sebagai alternatif yang lebih tahan terhadap keberadaan pencilan maupun pelanggaran asumsi klasik. Estimasi M dilakukan dengan algoritma *Iteratively Reweighted Least Squares* (IRLS), di mana parameter dihitung menggunakan [12]:

$$\hat{\beta} = (X'WX)^{-1}X'Wy$$

dengan W merupakan matriks bobot yang ditentukan oleh fungsi pembobot *Andrew*, *Tukey*, atau *Huber*.

Fungsi Pembobot

Estimasi M pada penelitian ini menggunakan tiga fungsi pembobot, yaitu *Andrew*, *Tukey Bisquare*, dan *Huber*. Fungsi pembobot tersebut secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut [4]:

1. Pembobot Andrew

$$w(u_i) = \begin{cases} \frac{\sin\left(\frac{u_i}{c}\right)}{\left(\frac{u_i}{c}\right)}, & \text{jika } |u_i| \leq \pi c \\ 0, & \text{jika } |u_i| > \pi c \end{cases}$$

2. Pembobot Tukey Bisquare

$$w(u_i) = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{u_i}{c}\right)^2\right)^2, & \text{jika } |u_i| \leq c \\ 0, & \text{jika } |u_i| > c \end{cases}$$

3. Pembobot Huber

$$w(u_i) = \begin{cases} 1, & \text{jika } |u_i| \leq c \\ \frac{c}{|u_i|}, & \text{jika } |u_i| > c \end{cases}$$

dengan u adalah residual standar dan c merupakan konstanta pembobot.

Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data realisasi PMA tahun 2023 dan variabel prediktor, kemudian mendeskripsikan data.
2. Mengestimasi model awal menggunakan metode OLS untuk memperoleh penduga awal dan residual.
3. Melakukan identifikasi pencilan melalui plot residual dan ukuran pengaruh DFFITS.
4. Melakukan estimasi parameter dengan regresi robust estimasi M menggunakan tiga pembobot: Andrew, Tukey Bisquare, dan Huber.
5. Mengulangi proses iterasi hingga parameter konvergen.
6. Mengevaluasi model menggunakan Adjusted R^2 dan MSE untuk menentukan model terbaik.
7. Melakukan uji F dan uji t pada model terbaik guna mengidentifikasi variabel yang berpengaruh terhadap PMA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik masing-masing variabel. Tabel 1 menampilkan nilai rata-rata, standar deviasi, minimum, dan maksimum sebagai berikut:

Tabel 1. Analisis Statistik Deskriptif

Variabel	Rata-rata	Standar Deviasi	Minimum	Maksimum
PMA	1.866,711	4.355,717	37	20.028
PDRB	540.308	818.234,9	24.433,99	3.443.026
Rasio Pajak	7,165	3,582	0,04	14,96

UMP	3.007.069	625.679,4	1.958.170	4.901.798
Infrastruktur Jalan	14.493	10.434,76	3.544	42.466
TPT	4,481	1,449	2,27	7,52

Hasil deskriptif menunjukkan adanya ketimpangan cukup besar pada sebagian variabel. Rata-rata PMA sebesar 1.866,71 juta USD sangat jauh di bawah nilai maksimum 20.028 juta USD, namun jauh di atas nilai minimum 37 juta USD. Begitupun pada variabel PDRB yang mencapai maksimum 3.443.026 miliar rupiah, lebih enam kali lipat rata-ratanya. Panjang infrastruktur jalan juga memperlihatkan perbedaan ekstrem dengan nilai maksimum 42.466 km dan minimum hanya 3.544 km.

Standar deviasi beberapa variabel bahkan melebihi rata-ratanya, seperti PMA, PDRB, dan panjang jalan, yang menandakan distribusi data sangat menyebar dan mengandung perbedaan mencolok antarprovinsi. Kondisi ini menjadi indikasi awal.

Estimasi Awal dengan *Ordinary Least Squares (OLS)*

Untuk memperoleh gambaran awal hubungan antarvariabel, dilakukan estimasi parameter dengan metode OLS. Hasil estimasi ditampilkan pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Estimasi Menggunakan OLS

Variabel	Estimasi	t-hitung	p-value
(Intercept)	-2980,00	-0,849	0,40208
X_1	0,004306	6,189	$6,28 \times 10^{-7}$
X_2	441,50	3,346	0,00211
X_3	0,0008372	0,998	0,32560
X_4	-0,1449	-2,592	0,01425
X_5	-236,60	-0,706	0,48503
Adjusted R^2	0,6458		
F-hitung	14,49		$1,949 \times 10^{-7}$

Berdasarkan Tabel 2 didapatkan model awal regresi dengan metode OLS yaitu:

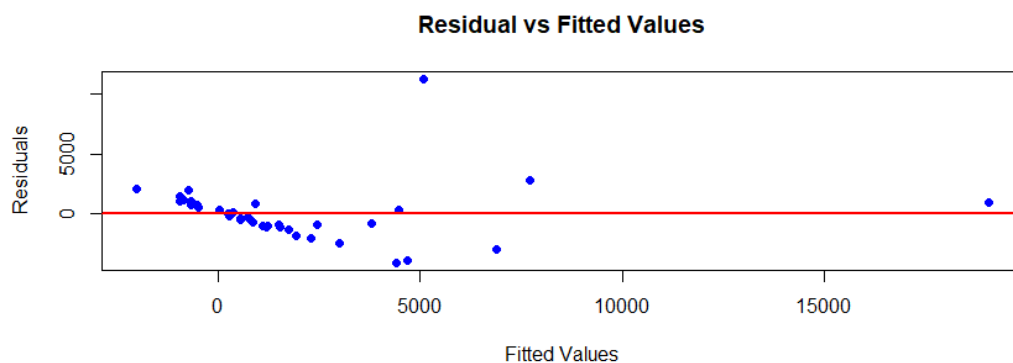
$$\hat{Y}_i = -2980 + 0,004306 X_{1i} + 441,50 X_{2i} + 0,0008372 X_{3i} - 0,1449 X_{4i} - 236,6 X_{5i}$$

Model regresi berganda dengan metode OLS menghasilkan nilai *Adjusted R*² sebesar 0,6458, yang berarti 64,58% variasi PMA dapat dijelaskan oleh lima variabel bebas. Uji F menunjukkan model signifikan secara simultan, sementara uji t parsial menunjukkan bahwa variabel PDRB, Rasio Pajak, dan Infrastruktur Jalan berpengaruh signifikan.

Namun, hasil uji asumsi klasik mengindikasikan dua asumsi tidak terpenuhi, yaitu normalitas residual dan homoskedastisitas. Uji Shapiro-Wilk menunjukkan residual tidak berdistribusi normal, sedangkan uji Glejser mendeteksi heteroskedastisitas pada variabel Rasio Pajak. Dengan demikian, estimasi OLS berpotensi bias karena keberadaan pencilan dan ketidakhomogenan ragam residual.

Identifikasi Pencilan

Sebelum dilakukan estimasi menggunakan regresi *robust*, perlu dipastikan keberadaan pencilan dan pengaruhnya. Pada penelitian ini digunakan Plot residual terhadap *fitted values* digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian model regresi dengan data dan DFFITS untuk mendeteksi pencilan berpengaruh signifikan. Plot dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 2. Plot Residual Terhadap *Fitted Values*

Plot residual terhadap *fitted values* memperlihatkan pola penyebaran yang tidak acak, bahkan terdapat titik-titik yang jauh dari kelompok utama. Identifikasi lebih lanjut dengan metode DFFITS menunjukkan lima provinsi (DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Timur, Bali, dan Kalimantan Selatan) memiliki nilai DFFITS melebihi ambang batas 0,795. Hal ini menandakan adanya pencilan berpengaruh yang berpotensi mendistorsi estimasi OLS.

Estimasi dengan Regresi *Robust* Estimasi M

Penelitian ini menggunakan regresi *robust* estimasi M dengan tiga fungsi pembobot, yaitu *Andrew*, *Tukey Bisquare*, dan *Huber* untuk mengatasi pengaruh pencilan pada data. Perbandingan performa ketiga pembobot tersebut ditampilkan sebagai berikut:

1. Pembobot Andrew

Melalui proses perhitungan iterasi dengan menggunakan software R, didapatkan model konvergen pada iterasi ke-11. Berikut ditampilkan hasil estimasi menggunakan pembobot *Andrew*:

Tabel 3. Estimasi Menggunakan Regresi *Robust* Estimasi M Pembobot *Andrew*

Variabel	Estimasi	<i>Adjusted R</i> ²	MSE
(<i>Intercept</i>)	-1395,0360		
X_1	0,0053		
X_2	81,7489	0,4935	8092048
X_3	0,0004		
X_4	-0,1124		
X_5	68,0788		

Model akhir yang diperoleh untuk pembobot *Andrew* sebagai berikut:

$$\hat{Y}_i = -1395,04 + 0,0053X_{1i} + 81,75X_{2i} + 0,0004X_{3i} - 0,1124X_{4i} + 68,08X_{5i}$$

Model ini memiliki *Adjusted R*² sebesar 0.4935, yang menunjukkan bahwa sekitar 49,35% variasi variabel respon dapat dijelaskan oleh variabel prediktor dalam model. Nilai *Mean Squared Error* (MSE) model sebesar 8.092.048 yang menunjukkan besar kesalahan kuadrat rata-rata dari hasil prediksi model terhadap data aktual.

2. Pembobot *Tukey Bisquare*

Melalui proses perhitungan iterasi dengan menggunakan software R, didapatkan model konvergen pada iterasi ke-12. Berikut ditampilkan hasil estimasi menggunakan pembobot *Tukey Bisquare*:

Tabel 4. Estimasi Menggunakan Regresi *Robust* Estimasi M Pembobot *Tukey Bisquare*

Variabel	Estimasi	<i>Adjusted R</i> ²	MSE
(<i>Intercept</i>)	-1395,1137		
X_1	0,0053		
X_2	82,3131	0,4940	8.083.467
X_3	0,0004		
X_4	-0,1125		
X_5	68,2157		

Model akhir yang diperoleh untuk pembobot *Tukey Bisquare* sebagai berikut:

$$\hat{Y}_i = -1395,11 + 0,0053X_{1i} + 82,31X_{2i} + 0,0004X_{3i} - 0,1125X_{4i} + 68,22X_{5i}$$

Model ini memiliki *Adjusted R²* sebesar 0,4940 yang menunjukkan bahwa sekitar 49,4% variasi variabel respon dapat dijelaskan oleh variabel prediktor dalam model. Nilai *Mean Squared Error* (MSE) model sebesar 8.083.467, yang menunjukkan besar kesalahan kuadrat rata-rata dari hasil prediksi model terhadap data aktual.

3. Pembobot Huber

Melalui proses perhitungan iterasi dengan menggunakan software R, didapatkan model konvergen pada iterasi ke-13. Berikut ditampilkan hasil estimasi menggunakan pembobot *Huber*:

Tabel 5. Estimasi Menggunakan Regresi *Robust* Estimasi M Pembobot *Huber*

Variabel	Estimasi	<i>Adjusted R²</i>	MSE
(<i>Intercept</i>)	-2716,9891		
X_1	0,0047		
X_2	174,2525	0,5716	6.844.128
X_3	0,0007		
X_4	-0,1285		
X_5	106,1659		

Model akhir yang diperoleh untuk pembobot *Huber* sebagai berikut:

$$\hat{Y}_i = -2841,76 + 0,003985 X_{1i} + 226,71 X_{2i} + 654,42 X_{3i} - 0,1333 X_{4i} - 91,27 X_{5i}$$

Model ini memiliki *Adjusted R²* sebesar 0,5716, yang menunjukkan bahwa sekitar 57,16% variasi variabel respon dapat dijelaskan oleh variabel prediktor dalam model. Nilai *Mean Squared Error* (MSE) model sebesar 6.844.128, yang menunjukkan besar kesalahan kuadrat rata-rata dari hasil prediksi model terhadap data aktual.

Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan pembobot terbaik dilakukan berdasarkan nilai *Adjusted R²* dan Mean Squared Error (MSE). Hasil estimasi dengan ketiga pembobot yaitu *Andrew*, *Tukey Bisquare* dan *Huber* menunjukkan bahwa pembobot *Huber* memiliki *Adjusted R²* tertinggi (0,5716) dan MSE terendah (6.844.128), sehingga dipilih sebagai model paling optimal. Dengan demikian, model regresi *robust* estimasi M terbaik untuk data realisasi PMA tahun 2023 adalah model dengan pembobot *Huber*, yaitu:

$$\hat{Y}_i = -2841,76 + 0,003985 X_{1i} + 226,71 X_{2i} + 654,42 X_{3i} - 0,1333 X_{4i} - 91,27 X_{5i}$$

Faktor yang Mempengaruhi PMA Tahun 2023

Berdasarkan uji F, variabel bebas secara simultan berpengaruh signifikan terhadap PMA. Secara parsial, uji t menunjukkan tiga variabel berpengaruh signifikan, yaitu:

1. PDRB (X_1) berpengaruh positif signifikan, artinya peningkatan output ekonomi daerah mendorong masuknya investasi asing. Hasil ini sejalan dengan penelitian Choirunnisa & Khoirudin (2024) yang menemukan bahwa PDRB berpengaruh positif dan signifikan terhadap PMA [13].
2. Rasio Pajak (X_2) juga berpengaruh positif signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas fiskal daerah yang kuat meningkatkan daya tarik investasi karena menjamin dukungan infrastruktur dan layanan publik. Hubungan positif ini sejalan dengan hasil penelitian Pradita et al., (2024) yang menunjukkan bahwa rasio pajak berpengaruh positif dan signifikan terhadap PMA [14].
3. Infrastruktur Jalan (X_4) justru berpengaruh negatif signifikan. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian oleh Hafif (2024) yang juga menemukan bahwa panjang jalan memiliki hubungan negatif terhadap PMA. Hal ini dapat disebabkan oleh kualitas jalan yang belum memadai meskipun panjangnya tinggi, sehingga meningkatkan biaya logistik dan mengurangi minat investor [15].

Sementara itu, UMP (X_3) dan TPT (X_5) tidak berpengaruh signifikan terhadap PMA pada taraf 5%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perbandingan regresi *robust* estimasi M dengan pembobot *Andrew*, *Tukey Bisquare*, dan *Huber* pada data realisasi Penanaman Modal Asing (PMA) tahun 2023, dapat disimpulkan:

1. Regresi *robust* estimasi M diterapkan karena model OLS tidak memenuhi asumsi klasik dan terdeteksi pencilan melalui DFFITS. Hasil menunjukkan bahwa pembobot *Andrew*, *Tukey Bisquare*, dan *Huber* memberikan perbedaan pada nilai koefisien, *Adjusted R²*, dan MSE. Perbedaan ini disebabkan oleh karakteristik masing-masing pembobot dalam mereduksi pengaruh pencilan.
2. Hasil perbandingan menunjukkan pembobot *Huber* sebagai yang terbaik dengan *Adjusted R²* sebesar 0,5716 dan MSE sebesar 6.844.128. Model akhir yang diperoleh adalah:

$$\hat{Y} = -2716,99 + 0,0047 X_{1i} + 174,25 X_{2i} - 0,1285 X_{4i}$$

di mana Y adalah PMA dalam juta USD, X_1 adalah PDRB dalam miliar rupiah, X_2 adalah rasio pajak dalam persentase, dan X_4 adalah infrastruktur jalan dalam satuan panjang jalan (km).

3. Faktor signifikan yang memengaruhi PMA tahun 2023 berdasarkan model terbaik adalah PDRB, rasio pajak, dan infrastruktur jalan. PDRB serta rasio pajak berpengaruh positif terhadap PMA, sedangkan infrastruktur jalan menunjukkan pengaruh negatif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Riani and A. Harris, "Daya Saing Ekonomi Indonesia: Cooperation Multilateral dan Regional," *Tafkirul Iqtishodiyah*, vol. 4, no. 2, pp. 1-8, 2024, doi: <http://ejournal.stisdulamtim.ac.id/index.php/JTI>.
- [2] J. K. Putri, T. F. N. Arifin, R. Syavira, Z. R. Nur, M. Nasution, and A. Qolbiah, "Peran Penanaman Modal Asing dalam Membangun Perekonomian di Indonesia," *J. Soc. Res.*, vol. 1, no. 3, pp. 201-212, 2022, doi: 10.55324/josr.v1i3.55.
- [3] A. A. Dewayanti and H. Utami, "Estimasi Robust pada Model Regresi untuk Menangani Outlier dan Heteroskedastisitas (Robust Estimation In Regression Model for Handling Outlier And Heteroskedeastisity)," *J. Mat. Thales*, vol. 03, no. 01, pp. 1-12, 2021.
- [4] R. A. Maronna, R. D. Martin, and V. J. Yohai, *Robust Statistics: Theory and Methods*. Chichester, England: Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd, 2006.
- [5] C. Chen, "Robust regression and outlier detection with the ROBUSTREG procedure," *SUGI Proceedings, SAS Inst. Inc.*, pp. 1-13, 2002, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/281873841>
- [6] P. R. Arum, M. Ridwan, I. Alfidayanti, and R. Wasono, "Robust Geographically Weighted Regression With Least Absolute Deviation (LAD) Estimation and M-Estimation on Grdp of West Java Province," *Barekeng*, vol. 18, no. 3, pp. 1573-1584, 2024, doi: 10.30598/barekengvol18iss3pp1573-1584.
- [7] A. R. Widyaningrum, Y. Susanti, and I. Slamet, "Pemodelan Penyakit Diare Balita di Jawa Timur Menggunakan Regresi Robust," *Pros. Semin. Nas. Sains*, vol. 2, no. 1, pp. 522-528, 2021.
- [8] W. H. Nugroho, N. W. S. Wardhani, A. A. R. Fernandes, and Solimun, "Robust Regression Analysis Study for Data with Outliers at Some Significance Levels," *Math. Stat.*, vol. 8, no. 4, pp. 373-381, 2020, doi: 10.13189/ms.2020.080401.
- [9] A. D. Deria, A. Hoyyi, and Mustafid, "Regresi Robust Estimasi-M dengan Pembobot Andrew, Pembobot Ramsay dan Pembobot Welsch Menggunakan

-
- Software R," *J. Gaussian*, vol. 8, no. 3, pp. 377-388, 2019, doi: 10.14710/j.gauss.v8i3.26682.
- [10] R. J. Azizah and L. Wachidah, "Regresi Robust Estimasi-M dengan Pembobot Huber dan Tukey Bisquare pada Data Tingkat Pengangguran di Indonesia Menurut Provinsi Tahun 2020," *Bandung Conf. Ser. Stat.*, vol. 2, no. 2, pp. 18-26, 2022, doi: 10.29313/bcss.v2i2.2648.
- [11] A. Damayanti and M. Susanti, "Analisis Regresi Robust Estimasi-M Pembobot Huber dan Tukey Bisquare Pada Tingkat Kemiskinan Indonesia," *J. Kaji. dan Terap. Mat.*, vol. 10, no. 2, p. 130, 2024, [Online]. Available: <http://journal.student.uny.ac.id/ojs/index.php/jktm>:
- [12] P. J. Rousseeuw and A. M. Leroy, *Robust Regression and Outlier Detection*. New York: New York, NY: John Wiley & Sons, 1987.
- [13] A. M. Choirunnisa and R. Khoirudin, "Pengaruh Upah Minimum Provinsi, PDRB, IPM, Jumlah Penduduk, TPAK Terhadap Penanaman Modal Asing Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Tengah," *Socius J. Penelit. Ilmu-Ilmu Sos.*, vol. 1, no. 12, pp. 327-334, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.12750605>
- [14] E. R. Pradita, M. Usman, and P. Ananta, "Determinan Penanaman Modal Asing di Indonesia Tahun 2018-2023," *J. Ekon. Dan Bisnis*, vol. 4, no. 2, pp. 1887-1895, 2024, doi: <https://doi.org/10.47233/jebbs.v4i6.2363>.
- [15] R. Hafif, "Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Penanaman Modal Asing Pulau Sumatera Tahun 2018-2022," Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, 2024. [Online]. Available: <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/83484>