



Original Research Article “Rancang Bangun Estimasi Daya Output Pada Photovoltaic Menggunakan Metode Fuzzy Anfis Sugeno”

Riny Sulistyowati^{1*}, Hari Agus Sujono², Gatot Basuki H³, Ariyanto Dwi Saputra⁴

^{1,2,3,4}Department Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Indonesia

¹riny.971073@itats.ac.id

²hari.agus17@itats.ac.id

³gatotbasukihm@itats.ac.id

⁴ariyantodwi@gmail.com

Abstract _The increasing demand for electrical energy has intensified the need for reliable renewable energy systems, particularly photovoltaic (PV) technology. However, accurately estimating PV output power remains challenging due to the variability of environmental conditions. This study develops a prediction model using an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) and compares its performance with a multi-regression approach. An Arduino-based data logger was implemented to collect real-time environmental parameters, including light intensity, voltage, current, and temperature. The experimental results indicate that the ANFIS model achieves a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) between 2% and 11%, significantly outperforming the multi-regression model, which produces errors in the range of 50% to 80%. This difference highlights the capability of ANFIS in representing nonlinear relationships among input variables. The developed system also demonstrates stable performance in real-time data acquisition, supporting reliable model input. These findings suggest that ANFIS provides a more accurate and robust approach for PV power estimation under varying environmental conditions.

Keywords: Photovoltaic, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS), Multi Regression, Power Estimation.

Abstrak _Meningkatnya kebutuhan energi listrik mendorong pemanfaatan energi terbarukan, seperti photovoltaic (PV), sebagai solusi ramah lingkungan. Namun, prediksi daya keluaran PV masih menjadi tantangan karena fluktuasi kondisi lingkungan. Penelitian ini memperkenalkan model prediksi daya menggunakan metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) dan Multi Regresi, dengan sistem data logger berbasis Arduino sebagai alat bantu untuk merekam parameter lingkungan secara real-time. Tujuan utama penelitian ini adalah meningkatkan akurasi prediksi daya PV dengan mempertimbangkan variabel lingkungan seperti intensitas cahaya, tegangan, arus, dan suhu. Metode penelitian meliputi perancangan data logger untuk pencatatan parameter lingkungan serta pemodelan prediksi daya menggunakan ANFIS dan Multi Regresi. Hasil analisis menunjukkan bahwa ANFIS memiliki akurasi lebih tinggi dengan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) 2–11%, dibandingkan Multi Regresi yang mencapai MAPE 50–80%. ANFIS lebih efektif dalam menangani hubungan non-linear antar variabel, sedangkan Multi Regresi hanya optimal pada hubungan linier. Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa sistem data logger yang dirancang berfungsi dengan baik dalam pengumpulan data real-time, dan metode ANFIS lebih unggul dalam memprediksi daya PV. Pendekatan ini memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi energi berbasis PV dan mendukung pengembangan energi terbarukan di Indonesia.

Kata Kunci: Photovoltaic, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS), Multi Regresi, Estimasi Daya

I. INTRODUCTION

Ketersediaan energi listrik yang stabil menjadi faktor penting dalam mendukung aktivitas ekonomi dan perkembangan teknologi. Peningkatan konsumsi listrik di berbagai wilayah mendorong pemanfaatan

sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan, salah satunya adalah sistem photovoltaic (PV). Namun, karakteristik output PV sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang berubah-ubah, sehingga estimasi daya yang akurat menjadi tantangan tersendiri. [1],[3].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan pendekatan pemodelan yang mampu menangkap hubungan kompleks antara variabel lingkungan dan daya keluaran PV [4]. Berbagai metode telah digunakan, termasuk regresi linier yang memodelkan hubungan antar variabel secara matematis. Meskipun metode ini cukup sederhana dan mudah diimplementasikan, performanya terbatas ketika menghadapi hubungan non-linear [5-6]. Oleh karena itu, pendekatan berbasis kecerdasan komputasional seperti ANFIS menjadi alternatif yang lebih adaptif dalam menangani dinamika sistem PV. [13].

Provinsi Jawa Timur, sebagai salah satu wilayah terbesar di Jawa-Bali dengan peningkatan populasi dan aktivitas ekonomi yang pesat, menjadi lokasi yang tepat untuk mengkaji peramalan kebutuhan energi listrik. Berbagai teknik peramalan telah diterapkan, seperti metode Regresi Linier yang mengkaji hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat[2]. Teknik ini terbukti mampu menghasilkan prediksi dengan tingkat akurasi yang tinggi, dimana studi menunjukkan bahwa model-model peramalan yang diuji memiliki nilai kesalahan MAPE di bawah 20%, atau setara dengan akurasi sebesar 80% [9]. Di samping metode konvensional tersebut, pendekatan lain seperti logika fuzzy juga telah digunakan untuk optimasi sistem pembangkit dan pengaturan produksi listrik, guna mencapai kinerja yang lebih adaptif dan responsif [7-8].

Lebih jauh, integrasi teknologi informasi seperti aplikasi Matlab Simulink mendukung simulasi dan pembelajaran dalam pengembangan sistem elektronika dasar, yang berkaitan erat dengan infrastruktur kelistrikan[10-12]. Aplikasi sensor modern termasuk sensor Bh1750, sensor arus, dan sensor tegangan juga telah diintegrasikan untuk memonitor berbagai aspek mulai dari pertumbuhan tanaman hingga karakterisasi daya listrik, sehingga mendukung optimalisasi kinerja sistem energi terbarukan [14].

II. METHODS (FOR ORIGINAL RESEARCH ARTICLE ONLY)

Figure 1 about here.

Pemodelan ANFIS dan Multi Regresi untuk Forecast

Metode Fuzzy-ANFIS

Langkah- langkah untuk membuat sistem Fuzzy-ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*) :

1. Arsitektur ANFIS

ANFIS adalah model yang menggabungkan kelebihan jaringan syaraf tiruan dan logika fuzzy. Arsitektur dasar ANFIS terdiri dari lima lapisan:

1. Lapisan input: Mengambil nilai input data intensitas cahaya, arus, dan tegangan.

2. Lapisan membership function (Inputmf): Menghitung nilai keanggotaan untuk setiap input berdasarkan fungsi keanggotaan fuzzy berdasarkan rumus persamaan 2.5.

3. Lapisan rule: Menghasilkan aturan fuzzy berdasarkan operator AND (produk fuzzy) berdasarkan persamaan 2.6.

4. Lapisan normalisasi (Outputmf): Menghitung normalisasi dari derajat keanggotaan berdasarkan persamaan 2.7.

5. Lapisan output: menghasilkan output berdasarkan fungsi keanggotaan (arsitektur) yang terdefuzzifikasi dapat dilihat gambar dibawah ini.

Figure 2 about here.

1. Penyusunan Data

Menyiapkan dataset Intensitas cahaya, Tegangan, dan Arus yang akan digunakan untuk pelatihan dan pengujian model ANFIS. Dataset harus dibagi menjadi dua bagian: data pelatihan, dan data pengujian.

2. Membuat Membership Function

Fungsi keanggotaan digunakan untuk menentukan derajat keanggotaan setiap input dalam himpunan fuzzy tertentu. Ada beberapa jenis fungsi keanggotaan Trimf, Trapmf, Gaussmf.

3. Menyusun Rule Fuzzy

Rule fuzzy dibuat berdasarkan logika if-then. Setiap aturan menghubungkan kondisi pada input dengan hasil pada output.

4. Pelatihan ANFIS

Pelatihan dilakukan untuk menyesuaikan parameter fungsi keanggotaan dan aturan fuzzy menggunakan algoritma optimasi backpropagation.

5. Pengujian dan Hasil

Setelah dilakukan pelatihan ANFIS, kemudian model Sugeno diuji menggunakan data pengujian untuk mengevaluasi performanya.

6. Visualisasi Hasil

Setelah melakukan pengujian dan mendapatkan hasil, visualisasikan hasil untuk melihat performa model gambar grafik.

Metode Regresi Linier

Metode peramalan ini mendeteksi hubungan sebab-akibat antara variabel penyebab (X) dan variabel akibat (Y) untuk memproyeksikan kejadian di masa depan. Metode ini digunakan untuk memprediksi karakteristik kualitas maupun kuantitas.

Berikut contoh perhitungan persamaan sebagai berikut :

$$Y = a + bX$$

Nilai-nilai a dan b dapat dihitung menggunakan rumus:

Jika nilai X, Y, X^2 , dan XY

Hitung jumlah Σ dari setiap kolom:

$$\Sigma X = 2 + 4 + 1 + 5 + 3 = 15$$

$$\Sigma Y = 10 + 15 + 5 + 20 + 12 = 62$$

$$\Sigma X^2 = 4 + 16 + 1 + 25 + 9 = 55$$

$$\Sigma XY = 20 + 60 + 5 + 100 + 36 = 221$$

maka nilai a dan b:

$$a = \frac{(62)(55) - (15)(221)}{(5)(55) - (15)^2} = \frac{3410 - 3315}{275 - 225} = \frac{95}{50} = 1.9$$

$$b = \frac{(5)(221) - (15)(62)}{(5)(55) - (15)^2} = \frac{1105 - 930}{275 - 225} = \frac{175}{50} = 3.5 \tag{1}$$

jadi nilai $a = 1.9$ dan $b = 3.5$, maka $Y = 1.9 + 3.5X$

Regresi linear adalah metode statistik untuk memodelkan hubungan antara variabel dependen (Y) dan satu atau lebih variabel independen (x_1, x_2, x_3 , dll.). Berikut adalah tujuan dan penjelasan dari setiap langkah.

1. Persamaan pada Excel
Langkah:

1. Masukkan data ke dalam tabel:
Kolom: x_1, x_2, x_3, y .
2. Hitung koefisien regresi ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$)
Gunakan fungsi LINEST di Excel untuk regresi linear dengan persamaan 2.11.
3. Model regresi
Membuat Bentuk model regresi linear dengan persamaan 2.12.
4. Estimasi parameter
Gunakan metode *Least Squares* untuk menentukan nilai $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$.

III. RESULTS AND DISCUSSION
(REVIEW ARTICLE USE
DISCUSSION)

Berikut hasil Rancangan Sistem Data Logger yang meliputi beberapa sensor komponen pendukung dapat dilihat pada gambar.

Figure 3 about here.

Data Hasil Perhitungan APE (Absolute Percentage Error)

Penelitian ini menggunakan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) untuk menghitung rate esteem. Untuk menghitung nilai MAPE, harus menghitung nilai APE terlebih dahulu dapat dilihat pada persamaan (1) sebelumnya.

Berikut contoh perhitungan untuk menghitung APE (*Absolute Percentage Error*) dan MAPE (*Mean Absolute Percentage*):

$$APE = \left| \frac{(Actual - Forecast)}{Actual} \right| \times 100\%$$

$$APE1 = \left| \frac{(120.196 - 124.126)}{120.196} \right| \times 100\% = 3.27\%$$

$$APE2 = \left| \frac{(115.498 - 123.464)}{115.498} \right| \times 100\% = 6.90\%$$

$$APE3 = \left| \frac{(114.476 - 118.576)}{114.476} \right| \times 100\% = 3.58\%$$

$$MAPE = \frac{3.27 + 6.90 + 3.58}{3} = 4.58\%$$

Figure 4 about here.

Berdasarkan gambar 4, grafik metode *Gauss333* dan *Gauss555* menunjukkan performa terbaik dengan nilai APE yang rendah dan konsisten, sehingga paling akurat untuk data pelatihan (70%). Metode *Trimf* dan *Multi Regresi* memberikan hasil cukup baik, meskipun kurang stabil dibanding *Gaussian*. Sebaliknya, metode *Trapmf555* tidak berhasil, dengan nilai APE konstan pada 100%, menunjukkan ketidaksesuaian metode ini untuk data yang digunakan. *Gaussian* menjadi metode yang paling direkomendasikan untuk kasus ini.

Figure 5 about here.

Pada gambar 5 grafik data uji (30%), metode *Gauss333* dan *Gauss555* menunjukkan performa terbaik dengan nilai APE yang rendah dan konsisten, menjadikannya paling akurat. Metode *Trimf* dan *Multi Regresi* memberikan hasil yang cukup baik tetapi kurang stabil di beberapa titik. Sebaliknya, metode *Trapmf555* gagal dengan nilai APE konstan 100%, menunjukkan ketidaksesuaian metode ini untuk data uji. *Gaussian* tetap menjadi metode yang paling direkomendasikan.

Data Hasil Perhitungan MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

Table 1 about here.

Table 2 about here.

Figure 6 about here.

Pada gambar grafik nilai MAPE (70%), metode *Gauss333* dan *Gauss555* menunjukkan akurasi terbaik dengan nilai MAPE terendah. Metode *Trimf333* dan *Trimf555* serta *Trapmf333* juga memberikan hasil yang cukup baik. Sebaliknya, *Trapmf555* memiliki MAPE tertinggi, menunjukkan performa yang buruk, sementara metode *Multi regresi* juga kurang efektif dengan nilai kesalahan yang cukup besar. *Gaussian*

menjadi metode yang paling direkomendasikan untuk data pelatihan ini.

Figure 7 about here.

Pada gambar grafik nilai MAPE (30%) *Trimf555* dan *Gauss555* merupakan metode dengan performa terbaik karena menghasilkan nilai error terendah, di bawah 10%. Metode *Trapmf555* memiliki performa terburuk dengan error 100%, diikuti oleh Multi Regresi yang juga menunjukkan error tinggi sekitar 80%. Metode *Trimf555* dan *Gauss555* lebih andal dibandingkan metode lainnya pada pengujian ini.

IV. CONCLUSION

Based on the experimental results and model evaluation, the ANFIS-based approach demonstrates superior performance in estimating photovoltaic output power compared to the multi-regression model. The obtained Mean Absolute Percentage Error (MAPE) for ANFIS ranges between 2% and 11%, indicating a high level of prediction accuracy, whereas the multi-regression model produces significantly higher errors in the range of 50% to 80%.

The results show that ANFIS is more capable of capturing the nonlinear relationships between environmental variables such as light intensity, voltage, current, and temperature and the resulting PV output power. In contrast, the multi-regression approach is limited in handling such nonlinear interactions, which leads to reduced prediction accuracy under varying environmental conditions.

Additionally, the developed Arduino-based data logger system is able to collect real-time environmental data consistently, providing reliable input for the prediction model. The integration of real-time data acquisition with ANFIS modeling contributes to improving the reliability of PV power estimation.

Overall, the findings indicate that the proposed approach can be effectively used for short-term PV power estimation under dynamic environmental conditions. However, the study is limited to the observed dataset and specific system configuration, and further evaluation under broader operating conditions is required to assess the general applicability of the model.

V. ACKNOWLEDGEMENTS

Recognize those who helped in the research, especially funding supporter of your research. Include individuals who have assisted you in your study: Advisors, Financial supporters, or may other supporter i.e. Proofreaders, Typists, and Suppliers who may have given materials.

REFERENCES

- [1] Amarulloh I. Peramalan Daya Listrik Jangka Pendek Pada Smart Grid Photovoltaic Menggunakan Metode Autoregressive Integrated Moving Average (Arima) Dengan Pengaruh Sensor Suhu Pada Mode Hybrid. 2021;10.
- [2] Baihaqi Wm, Dianingrum M. Regresi Linier Sederhana Untuk Memprediksi Kunjungan Pasien Di Rumah Sakit Berdasarkan Jenis Layanan Dan Umur Pasien. 2019;10.
- [3] Purwoto Bh, Jatmiko J, Fadilah Ma, Huda If. Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif. Emit J Tek Elektro. 2018;18:10–4.
- [4] R. Ardhiansyah, E. Endryansyah, Dan N. Kholis, "Rancang Bangun Alat Monitoring Gangguan Pada Panel Surya Menggunakan Nodemcu Berbasis Website," *Indonesian Journal Of Engineering And Technology (Inajet)*, Vol. 5, No. 1, Hlm. 29–38, September 2022.
- [5] D. L. Rahakbauw, "Penerapan Logika Fuzzy Metode Sugeno Untuk Menentukan Jumlah Produksi Roti Berdasarkan Data Persediaan Dan Jumlah Permintaan (Studi Kasus: Pabrik Roti Sinda Ambon)," *Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, Vol. 9, No. 2, Hlm. 121–134, Desember 2015.
- [6] Riny Sulistyowati, A. Fadholi, Optimalisasi Panel Surya Untuk Skala Rumah Tangga, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika (SNESTIK) 2022*
- [7] HA Sujono, Riny Sulistyowati, A Safi'i, CW Priananda, Photovoltaic farm with maximum power point tracker using hill Climbing algorithm, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* 13 (2018), 6.
- [8] Pebriningtyas Km, Musyafa A, Indriawati K, Hakim Jar. Penelusuran Daya Maksimum Pada Panel Photovoltaic Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Di Kota Surabaya. 2013;2.
- [9] Ilmi U. Studi Persamaan Regresi Linear Untuk Penyelesaian Persoalan Daya Listrik. *J Tek.* 2019;11:1083.
- [10] S. N. Hutagalung Dan M. Panjaitan, "Pembelajaran Fisika Dasar Dan Elektronika Dasar (Arus, Hambatan Dan Tegangan Listrik) Menggunakan Aplikasi Matlab Metode Simulink," *Jurnal Ikatan Alumni Fisika Universitas Negeri Medan*, Vol. 4, No. 3, Hlm. 30–35, 2018.
- [11] Singh T, Thakur R. Design And Development Of Pv Solar Panel Data Logger. *Int J Comput Sci Eng.* 2019;7:364–9.
- [12] Aji K, Ulum M, Alfita R. Implementasi Data Logger Sebagai Perangkat Monitoring Pada

Sistem Desalinasi Hybrid Berbasis Energi Terbarukan. 2021;15.

- [13] P. Handoko, "Sistem Kendali Perangkat Elektronika Monolitik Berbasis Arduino Uno R3," *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi (Semnastek)*, Universitas Muhammadiyah Jakarta, 2017.
- [14] Budi Ws, Indrasari W, Fahdiran R. Karakterisasi Sensor Arus Dan Tegangan Untuk Aplikasi Maximum Power Point Tracker Pada Sistem Penyimpanan Energi Listrik Panel Surya. 2020. 018, Accessed: Feb. 18, 2025. [Online]. Available:
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/2065>.

*Correspondent e-mail address

riny.971073@itats.ac.id Peer reviewed under responsibility of Muhammadiyah Sidoarjo University, Indonesia

© 2026 Muhammadiyah University Sidoarjo, All right reserved, This is an open access article under the CC BY license(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Received: 2026-01-06

Accepted: 2026-04-29

Published: 2026-04-30

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Min, Max, MAPE (70%)	52
Tabel 2. Nilai Min, Max, MAPE (30%)	52

Tabel 1. Nilai Min, Max, dan MAPE (70%)

Metode	Min APE	Max APE	MAPE
ANFIS			
Trimf333	0.00%	35.67%	8.44%
Trimf555	0.00%	27.59%	6.27%
Trapmf333	0.00%	19.16%	6.76%
Trapmf555	100.00%	100.00%	100.00%
Gauss333	0.04%	23.67%	5.98%
Gauss555	0.00%	8.64%	2.03%
Multi Regresi	28.85%	102.41%	54.63%

Tabel 2. Nilai Min, Max, MAPE (30%)

Metode	Min APE	Max APE	MAPE
ANFIS			
Trimf333	1.44%	42.51%	11.13%
Trimf555	0.10%	32.86%	6.82%
Trapmf333	1.51%	72.67%	28.67%
Trapmf555	100.00%	100.00%	100.00%
Gauss333	0.22%	49.94%	9.48%
Gauss555	0.01%	14.48%	2.13%
Multi Regresi	37.72%	102.94%	79.19%

DAFTAR GAMBAR

Figure 1. Diagram Alir Penelitian	54
Figure 2. Arsitektur ANFIS	54
Figure 3. Hasil Rancangan Sistem Data Loger	55
Figure 4. Grafik Nilai APE (70%)	55
Figure 5. Grafik Nilai APE (30%)	55
Figure 6. Grafik Nilai MAPE (70%)	56
Figure 7. Grafik Nilai MAPE (30%)	56

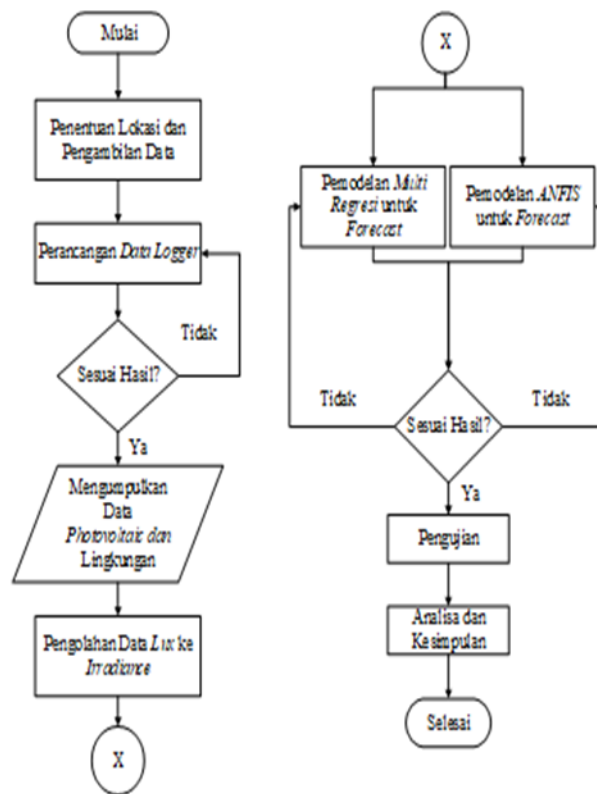


Figure 1. Diagram Alir Penelitian

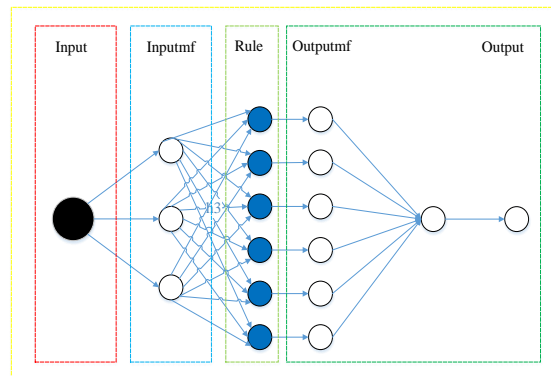


Figure 2. Arsitektur ANFIS

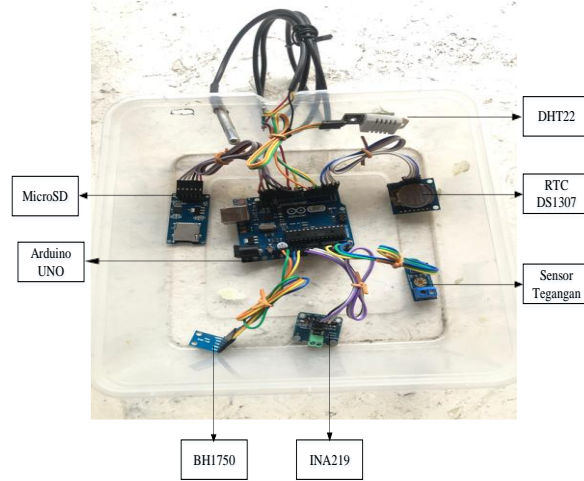


Figure 3. Hasil rancangan sistem data logger

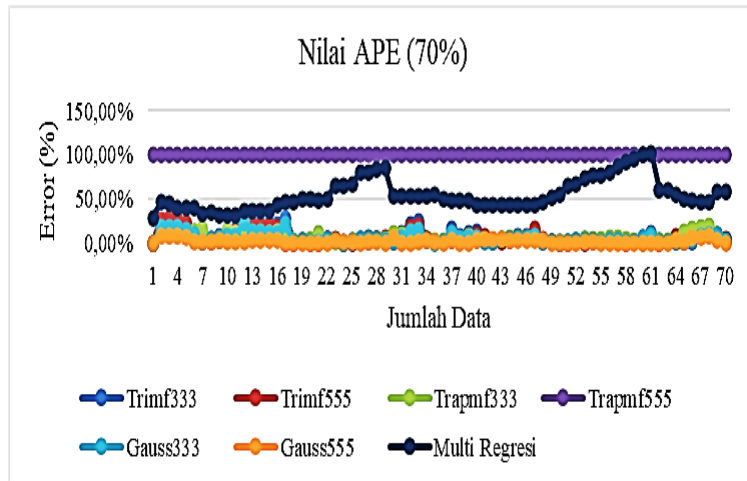


Figure 4. Grafik nilai APE (70%)

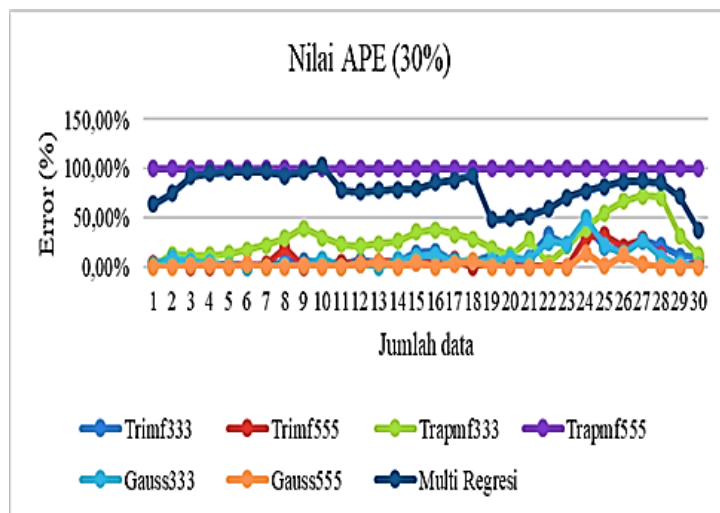


Figure 5. Grafik nilai APE (30%)

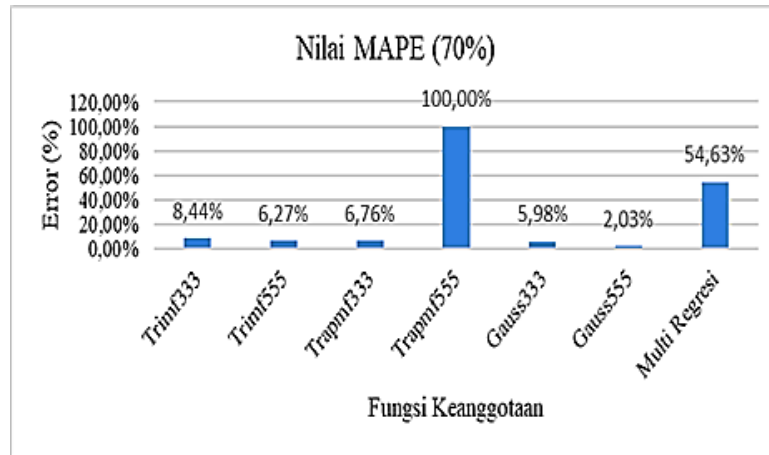


Figure 6. Grafik nilai MAPE (70%)

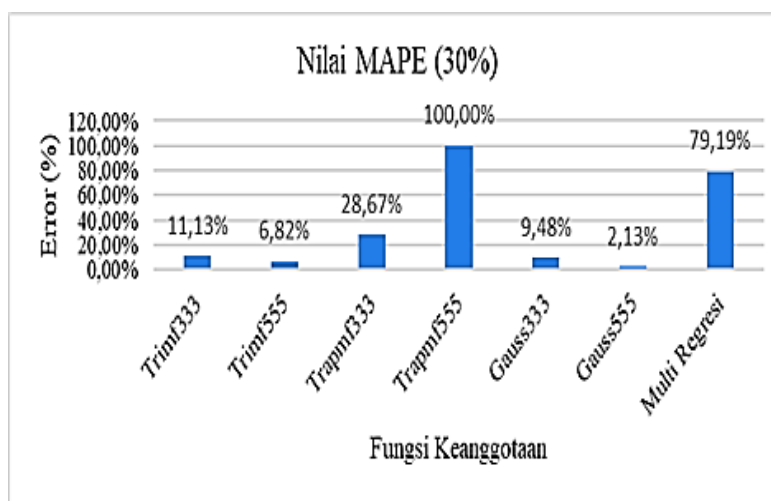


Figure 7. Grafik nilai MAPE (30%)