

ANALISIS KINERJA PENGGEROMBOLAN *DYNAMIC TIME WARPING* PADA PERAMALAN DATA DERET WAKTU DENGAN ANOMALI TITIK MENGGUNAKAN ARIMA, TCN, DAN *HYBRID*

MEAVI CINTANI



**PROGRAM STUDI MAGISTER STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI, PENGUNAAN AI, DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul "Analisis Kinerja Penggerombolan *Dynamic Time Warping* pada Peramalan Data Deret Waktu dengan Anomali Titik Menggunakan ARIMA, TCN, dan *Hybrid*" merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Statistika dan Sains Data. Karya ini merupakan karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal dari atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka pada bagian akhir tesis ini.

Dalam penyusunan karya ini, penulis menggunakan bantuan kecerdasan buatan *Claude* (Anthropic), *DeepSeek*, dan *Gemini* (Google) untuk membantu penulisan, pemahaman konsep, penyusunan struktur teks, serta pengecekan tata bahasa dan logika dalam penulisan ilmiah. Setelah menggunakan alat/layanan tersebut, penulis meninjau dan menyunting konten sesuai kebutuhan serta bertanggung jawab penuh atas isi karya tugas akhir ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Meavi Cintani
M0501241040



RINGKASAN

MEAVI CINTANI. Analisis Kinerja Penggerombolan *Dynamic Time Warping* pada Peramalan Data Deret Waktu dengan Anomali Titik Menggunakan ARIMA, TCN, dan *Hybrid*. Dibimbing oleh I MADE SUMERTAJAYA dan YENNI ANGRAINI.

Penggerombolan deret waktu terhadap data bulanan nilai ekspor pada 30 provinsi di Indonesia selama periode Januari 2013 hingga Maret 2025 menggunakan jarak *Dynamic Time Warping* (DTW) yang dikombinasikan dengan *Multidimensional Scaling* (MDS) mampu merepresentasikan kemiripan pola ekspor antarprovinsi dengan baik, yang ditunjukkan oleh nilai *stress* sebesar 0,0254. Berdasarkan evaluasi kualitas penggerombolan, metode Fuzzy C-Means (FCM) menghasilkan kualitas gerombol yang lebih baik dibandingkan K-Medoids dengan nilai *Silhouette Score* (SS) sebesar 0,63 dan *Davies–Bouldin Index* (DBI) sebesar 0,57, sedangkan K-Medoids memperoleh SS sebesar 0,61 dan DBI sebesar 0,58. Meskipun kedua metode menghasilkan tiga gerombol dengan karakteristik yang relatif serupa, terdapat perbedaan komposisi anggota pada beberapa provinsi, seperti Riau dan Kepulauan Riau yang menunjukkan bahwa FCM lebih fleksibel dalam mengelompokkan provinsi dengan karakteristik ekspor yang berada pada batas antargerombol.

Pada tahap peramalan data empiris, performa model berbeda pada masing-masing metode penggerombolan. Hasil penggerombolan K-Medoids, model *hybrid* menghasilkan nilai MAPE terendah pada Gerombol 1 sebesar 8,51%, dan Gerombol 2 sebesar 4,53%, sedangkan pada Gerombol 3 model TCN memberikan nilai MAPE terendah sebesar 11,18%. Sementara itu, pada hasil penggerombolan FCM, model *hybrid* secara konsisten menghasilkan nilai MAPE terendah pada seluruh gerombol, yaitu 5,69% pada Gerombol 1, 3,84% pada Gerombol 2, dan 5,15% pada Gerombol 3. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode penggerombolan yang menghasilkan kualitas gerombol lebih baik juga cenderung menghasilkan akurasi peramalan yang lebih baik. Pada penelitian ini, kombinasi FCM dan model *hybrid* memberikan nilai MAPE yang paling rendah dan lebih konsisten dibandingkan kombinasi metode lainnya pada data empiris.

Perbandingan antara data empiris yang mengandung anomali dan data tanpa anomali menunjukkan bahwa keberadaan anomali berkaitan dengan peningkatan galat peramalan. Meskipun proses pembersihan anomali tidak mengubah struktur utama hubungan antarprovinsi, yang ditunjukkan oleh nilai *stress* MDS yang relatif tetap, yaitu 0,0254 pada data empiris dan 0,0253 pada data tanpa anomali, akurasi peramalan meningkat setelah anomali dihilangkan. Pada data tanpa anomali, model *hybrid* secara konsisten menghasilkan nilai MAPE yang lebih rendah dibandingkan ARIMA dan TCN pada kedua metode penggerombolan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa setelah anomali dihilangkan, pola data menjadi lebih stabil sehingga seluruh model menghasilkan nilai MAPE yang lebih rendah dibandingkan pada data empiris.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan persentase dan kedalaman anomali memengaruhi proses pengukuran kemiripan, reduksi dimensi, kualitas penggerombolan, dan akurasi peramalan. Pada tahap pengukuran kemiripan, peningkatan tingkat anomali menyebabkan nilai jarak DTW cenderung meningkat,

meskipun struktur umum kedekatan antarprovinsi masih relatif konsisten. Pada tahap reduksi dimensi, nilai *stress* MDS juga meningkat seiring bertambahnya persentase dan kedalaman anomali, yang menunjukkan penurunan kualitas representasi data. Hasil *Aligned Rank Transform* ANOVA (ART-ANOVA) menunjukkan bahwa persentase dan kedalaman anomali berpengaruh signifikan terhadap performa DTW-MDS ($p\text{-value} < 0,05$). Selain itu, metode penggerombolan, persentase anomali, dan kedalaman anomali juga berpengaruh signifikan terhadap kualitas penggerombolan berdasarkan nilai SS ($p\text{-value} < 0,05$), sedangkan seluruh interaksi antarfaktor tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan.

Pada evaluasi performa peramalan data simulasi, hasil ART-ANOVA menunjukkan bahwa metode penggerombolan, model peramalan, persentase anomali, dan kedalaman anomali berpengaruh signifikan terhadap nilai MAPE ($p\text{-value} < 0,05$). Berdasarkan hasil evaluasi kualitas penggerombolan pada data empiris, FCM dipilih sebagai fokus analisis lanjutan karena menghasilkan kualitas penggerombolan yang lebih baik dibandingkan K-Medoids. Hasil analisis pada penggerombolan FCM menunjukkan bahwa faktor model peramalan, persentase anomali, dan kedalaman anomali berpengaruh signifikan terhadap akurasi peramalan, sedangkan seluruh interaksi antarfaktor tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa metode penggerombolan, model peramalan, serta karakteristik anomali masing-masing berkontribusi terhadap perubahan akurasi peramalan.

Secara keseluruhan, metode FCM menghasilkan kualitas penggerombolan yang lebih baik dibandingkan K-Medoids. Pada hasil penggerombolan tersebut, model *hybrid* memberikan performa peramalan yang paling baik pada sebagian besar kondisi dengan nilai MAPE yang lebih rendah dan lebih konsisten dibandingkan model ARIMA maupun TCN. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan metode penggerombolan berbasis DTW dapat mendukung diperolehnya hasil peramalan yang lebih akurat pada data deret waktu yang mengandung anomali. Model yang dihasilkan selanjutnya digunakan untuk melakukan peramalan nilai ekspor hingga 12 periode ke depan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif dalam mendukung penyusunan proyeksi nilai ekspor sebagai dasar perumusan kebijakan perdagangan dan pembangunan ekonomi nasional serta berkontribusi terhadap pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya Tujuan 8,9 dan 10 melalui penyediaan informasi yang mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

Kata kunci : Dynamic Time Warping, Fuzzy C-Means, Hybrid ARIMA-TCN, data anomali, peramalan deret waktu.



SUMMARY

MEAVI CINTANI. Performance Analysis of Dynamic Time Warping-Based Clustering in Time Series Forecasting with Point Anomalies Using ARIMA, TCN, and Hybrid Models. Supervised by I MADE SUMERTAJAYA and YENNI ANGRAINI.

Time series clustering of monthly export values from 30 provinces in Indonesia covering the period from January 2013 to March 2025 was performed using Dynamic Time Warping (DTW) combined with Multidimensional Scaling (MDS). The DTW–MDS approach successfully represented the similarity of export patterns among provinces, as indicated by a low stress value of 0.0254. Based on the clustering quality evaluation, the Fuzzy C-Means (FCM) method outperformed K-Medoids, achieving a Silhouette Score (SS) of 0.63 and a Davies–Bouldin Index (DBI) of 0.57, while K-Medoids obtained an SS of 0.61 and a DBI of 0.58. Although both methods produced three clusters with relatively similar characteristics, differences in cluster membership were observed for several provinces, including Riau and Riau Islands, suggesting that FCM is more flexible in grouping provinces with export characteristics located near cluster boundaries.

For the empirical data, forecasting performance varied across the clustering methods. Under the K-Medoids clustering results, the hybrid model achieved the lowest MAPE values for Cluster 1 (8.51%) and Cluster 2 (4.53%), whereas the TCN model produced the lowest MAPE for Cluster 3 (11.18%). In contrast, under the FCM clustering results, the hybrid model consistently produced the lowest MAPE across all clusters, with values of 5.69%, 3.84%, and 5.15% for Clusters 1, 2, and 3, respectively. These results indicate that better clustering quality tends to be associated with better forecasting accuracy. In this study, the combination of FCM and the hybrid model provided the lowest and most consistent MAPE values on the empirical data.

A comparison between the empirical data containing anomalies and the anomaly-free data showed that the presence of anomalies was associated with higher forecasting errors. Although removing anomalies did not substantially change the overall similarity structure among provinces, as reflected by nearly identical MDS stress values of 0.0254 for the empirical data and 0.0253 for the anomaly-free data, forecasting accuracy improved after anomaly removal. For the anomaly-free data, the hybrid model consistently achieved lower MAPE values than both ARIMA and TCN under the two clustering methods. This finding suggests that removing anomalies resulted in more stable data patterns, leading to improved forecasting performance.

The simulation results showed that increasing both the percentage and the magnitude of anomalies affected similarity measurement, dimensionality reduction, clustering quality, and forecasting accuracy. At the similarity measurement stage, higher anomaly levels generally increased DTW distances, although the overall similarity structure among provinces remained relatively stable. Likewise, MDS stress values increased as the percentage and magnitude of anomalies became larger, indicating a decline in the quality of the low-dimensional representation. The results of the Aligned Rank Transform ANOVA (ART-ANOVA) revealed that both anomaly percentage and anomaly magnitude had significant effects on DTW–MDS



performance ($p < 0.05$). In addition, the clustering method, anomaly percentage, and anomaly magnitude significantly affected clustering quality based on the Silhouette Score ($p < 0.05$), whereas none of the interaction effects among these factors were statistically significant.

For the forecasting evaluation using simulated data, ART-ANOVA showed that the clustering method, forecasting model, anomaly percentage, and anomaly magnitude all had significant effects on MAPE values ($p < 0.05$). Since FCM produced better clustering quality on the empirical data, it was selected for further analysis. The results showed that forecasting model, anomaly percentage, and anomaly magnitude significantly influenced forecasting accuracy, while none of the interaction effects were statistically significant. These findings indicate that the clustering method, forecasting model, and anomaly characteristics each contribute independently to forecasting performance.

Overall, Fuzzy C-Means produced better clustering quality than K-Medoids. Based on the FCM clustering results, the hybrid ARIMA–TCN model consistently delivered better forecasting performance than the ARIMA and TCN models, producing lower and more stable MAPE values under most conditions. These findings suggest that selecting an appropriate DTW-based clustering method can improve forecasting accuracy for time series data containing anomalies. The final model was then used to forecast export values for the following 12 periods. It is expected that the proposed approach can serve as an alternative tool for supporting export value projections to assist trade policy formulation and national economic development planning. In addition, this study contributes to the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly Goal 8 (Decent Work and Economic Growth), by providing data-driven information to support evidence-based decision-making.

Keywords: Dynamic Time Warping, Fuzzy C-Means, Hybrid ARIMA–TCN, anomalous time series, time series forecasting.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

ANALISIS KINERJA PENGGEROMBOLAN *DYNAMIC TIME WARPING* PADA PERAMALAN DATA DERET WAKTU DENGAN ANOMALI TITIK MENGGUNAKAN ARIMA, TCN, DAN *HYBRID*

MEAVI CINTANI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Statistika dan Sains Data

**PROGRAM STUDI MAGISTER STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

Dr. Farit Mochamad Afendi, S.Si, M.Si

Judul Tesis : Analisis Kinerja Penggerombolan *Dynamic Time Warping* pada Peramalan Data Deret Waktu dengan Anomali Titik Menggunakan ARIMA, TCN, dan *Hybrid*

Nama : Meavi Cintani

NIM : M0501241040

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. I Made Sumertajaya, M.Si.

Pembimbing 2:

Dr. Yenni Angraini, S.Si., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Agus Mohamad Soleh, S.Si., M.T.

NIP 19750315 199903 1 004

Dekan Sekolah Sains Data, Matematika dan Informatika

Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom.

NIP 19660702 199302 1 001

Tanggal Ujian: 27 Juli 2026

Tanggal Lulus:



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat, karunia, dan ridha-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian yang dilaksanakan sejak bulan September 2025 sampai dengan Agustus 2026 ini mengangkat tema analisis data deret waktu, khususnya penggerombolan berbasis *Dynamic Time Warping* (DTW) dan peramalan pada data yang mengandung anomali. Judul karya ilmiah ini adalah "Analisis Kinerja Penggerombolan *Dynamic Time Warping* pada Peramalan Data Deret Waktu dengan Anomali Titik Menggunakan ARIMA, TCN, dan *Hybrid*".

Penulis menyadari bahwa proses penulisan tesis ini tidak terlepas dari kontribusi dan dukungan pihak lain. Oleh karena itu, Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. I Made Sumertajaya, M.Si. dan Ibu Dr. Yenni Angraini, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing dengan baik serta menjelaskan dan memberikan arahan selama proses penyusunan karya ilmiah ini.
2. Karya ini dipersembahkan kepada Ayahanda Bapak Kurniadi dan Ibunda Ibu Nina Ekasari sebagai wujud rasa hormat, cinta, dan terima kasih atas doa yang tiada henti, kasih sayang yang tulus, serta segala pengorbanan dan dukungan yang senantiasa mengiringi setiap langkah penulis. Terima kasih juga kepada adik-adik tercinta, Sayidira Ramadhinka dan Queny Asyifa, yang selalu memberikan semangat, doa, dan kebahagiaan sehingga menjadi sumber motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan karya ini.
3. Dosen dan tenaga pendidik Program Studi Statistika dan Sains Data yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat serta membantu penulis dalam kebutuhan administrasi selama masa perkuliahan dan penyusunan karya ilmiah ini.
4. Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah memberikan kesempatan untuk memperoleh beasiswa serta dana dalam menempuh program Magister.
5. Teman-teman *Newton Friends*, Program Magister Statistika dan Sains Data Angkatan 2024, Kelurahan LPDP IPB 12.0, serta sahabat-sahabat penulis yang senantiasa memberikan motivasi, dukungan, dan semangat kepada penulis.
6. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan karya ilmiah ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan serta bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2026

Meavi Cintani



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	5
II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Anomali pada Data Deret Waktu	6
2.2 Jarak <i>Dynamic Time Warping</i>	6
2.3 <i>Multidimensional Scaling</i> (MDS)	8
2.4 Penggerombolan <i>K-Medoids</i>	8
2.5 Penggerombolan <i>Fuzzy C-Means</i>	9
2.6 Ketepatan Jumlah Gerombol	10
2.7 <i>Prototype</i>	11
2.8 <i>Autoregressive Integrated Moving Average</i> (ARIMA)	12
2.9 <i>Temporal Convolutional Network</i> (TCN)	12
2.10 Model <i>Hybrid</i>	15
2.11 Ukuran Keakuratan Ramalan	16
III METODE	17
3.1 Data	17
3.2 Prosedur Analisis Data	18
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Praproses dan Eksplorasi Data	27
4.2 Deteksi Anomali	28
4.3 Data Empiris	30
4.4 Data Simulasi	45
4.5 Peramalan 12 Periode	56
V SIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Simpulan	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	66
RIWAYAT HIDUP	75



DAFTAR TABEL

1	Kriteria penilaian MAPE (Lewis 1982)	16
2	Struktur data	17
3	Skenario data simulasi	18
4	<i>Expanding window</i>	21
5	<i>Hyperparameter tuning</i>	22
6	Jumlah anomali	29
7	Matriks 30×30 ukuran jarak DTW	30
8	Nilai <i>stress</i> MDS berdasarkan jumlah dimensi	31
9	Hasil perhitungan gerombol terbaik	33
10	Pemodelan ARIMA gerombol	37
11	Pemodelan TCN gerombol	38
12	Hasil optimasi TCN pada data sisaan ARIMA	39
13	Nilai RMSE, MAE, dan MAPE tiap model pada data latih di tiap gerombol	40
14	Nilai RMSE, MAE, dan MAPE tiap model pada data uji di tiap gerombol	43
15	Perbandingan nilai MAPE metode peramalan pada setiap Gerombol untuk data empiris dan data tanpa anomali	47
16	Perubahan nilai DTW pada beberapa pasangan provinsi	47
17	Uji ART ANOVA pengaruh persentase dan kedalaman terhadap MDS	49
18	Uji ART ANOVA pengaruh persentase, kedalaman, dan metode penggerombolan terhadap performa penggerombolan	50
19	Hasil analisis ANOVA ART terhadap nilai MAPE berdasarkan metode penggerombolan, metode peramalan, persentase, dan kedalaman anomali	52
20	Uji ART ANOVA pengaruh persentase, kedalaman, dan metode peramalan terhadap performa peramalan	55



DAFTAR GAMBAR

1	Perbandingan pemetaan jarak Euclidean dn DTW (Lee <i>et al.</i> 2020)	7
2	Arsitektur TCN	12
3	Proses konvolusi TCN	13
4	Representasi visual dari <i>dilated causal convolutions</i>	14
5	Representasi visual dari <i>residual block</i>	14
6	Tahapan <i>pra-processing</i> data	19
7	Tahapan penggerombolan data	20
8	Ilustrasi <i>expanding window cross validation</i>	21
9	Tahapan peramalan	23
10	Prosedur penelitian data empiris	24
11	Prosedur penelitian data simulasi	25
12	Plot deret waktu nilai ekspor setiap provinsi di Indonesia	27
13	Visualisasi deteksi anomali : (a) Bangka Belitung (b) DKI Jakarta	28
14	Visualisasi MDS 3D	31
15	Evaluasi <i>k</i> optimal (a) FCM (b) K-Medoids	32
16	Visualisasi profil anggota Gerombol 1 berdasarkan metode (a) FCM. dan (b) K-Medoids.	34
17	Peta hasil penggerombolan FCM	35
18	Peta hasil penggerombolan K-Medoids	35
19	Nilai ekspor <i>prototype</i> gerombol periode Januari 2013-Maret 2025, (a) Gerombol 1 K-medoids, (b) Gerombol 2 K-medoids, (c) Gerombol 3 K-medoids (d) Gerombol 1 K-medoids (e) Gerombol 2 FCM (f) Gerombol 3 FCM	36
20	Diagnostik Residual Model ARIMA pada Gerombol 1 (K-Medoids)	37
21	Residual ARIMA Gerombol 3 FCM	39
22	Perbandingan nilai aktual dengan nilai peramalan data latih tiap model (a) Gerombol 1 K-Medoid (b) Gerombol 2 K-Medoid (c) Gerombol 3 K-Medoid (d) Gerombol 1 FCM (b) Gerombol 2 FCM (c) Gerombol	42
23	Perbandingan nilai aktual dengan nilai peramalan data uji tiap model (a) Gerombol 1 K-Medoid (b) Gerombol 2 K-Medoid (c) Gerombol 3 K-Medoid (d) Gerombol 1 FCM (b) Gerombol 2 FCM (c) Gerombol 3 FCM	44
24	Perbandingan matriks jarak DTW (a) data tanpa anomali (b) data empiris	45
25	Perbandingan nilai data empiris dan data tanpa anomali (a) nilai SS (b) nilai DBI	46
26	Distribusi nilai DTW pada setiap skenario anomali	48
27	Performa MDS pada setiap persentase dan kedalaman anomali	49
28	Performa pengerombolan metode K-Medoids dan FCM pada setiap persentase dan kedalaman anomali	50
29	Perbandingan nilai MAPE berdasarkan metode penggerombolan, peramalan, persentase, dan kedalaman anomali	51
30	Pengaruh interaksi metode penggerombolan dan persentase anomali terhadap nilai MAPE.	53
31	Perbandingan distribusi nilai MAPE (a) K-Medoids dan (b) FCM	53



32	Performa model peramalan pada metode FCM terhadap persentase dan kedalaman anomali	54
33	Perbandingan performa model peramalan pada setiap gerombol	55
34	Hasil peramalan <i>hybrid</i> berdasarkan hasil penggerombalan FCM (a) Gerombol 1(b) Gerombol 2 (c) Gerombol 3	57

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR LAMPIRAN

1	Tahapan pembersihan anomali berdasarkan aturan <i>winsorization</i>	67
2	Visualisasi pendeteksian anomali 30 provinsi di Indonesia	68
3	Hasil evaluasi penggerombolan FCM dan K-Medoids berdasarkan nilai SS dan DBI	69
4	Hasil penggerombolan FCM (probabilitas + <i>hard cluster</i>)	69
5	Plot Deret Waktu FCM dan K-Medoids	70
6	Evaluasi metrik nilai <i>stress</i> MDS pada dimensi 3	72
7	Evaluasi metrik nilai <i>stress</i> pada data simulai penggerombolan pada k = 3	72
8	Nilai MAPE model ARIMA, TCN, dan <i>hybrid</i> pada data simulasi hasil penggerombolan K-Medoids	73
9	Nilai MAPE model ARIMA, TCN, dan <i>hybrid</i> pada data simulasi hasil penggerombolan FCM	74



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.