

KAJIAN MODEL PERAMALAN TIGA HARGA KOMODITAS PANGAN UNTUK 34 IBU KOTA PROVINSI DENGAN PENDEKATAN MULTIVARIATE TIME SERIES

DHIYA ULAYYA TSABITAH



**PROGRAM STUDI MAGISTER STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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 SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Kajian Model Peramalan Tiga Harga Komoditas Pangan Untuk 34 Ibu Kota Provinsi Dengan Pendekatan Multivariate Time Series” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

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

Bogor, November 2025

Dhiya Ulayya Tsabitah
NIM M0501241094



RINGKASAN

DHIYA ULAYYA TSABITAH. Kajian Model Peramalan Tiga Harga Komoditas Pangan Untuk 34 Ibu Kota Provinsi Dengan Pendekatan Multivariate Time Series. Dibimbing oleh YENNI ANGRAINI dan I MADE SUMERTAJAYA.

Fluktuasi harga pangan di Indonesia, khususnya pada komoditas beras, telur ayam, dan bawang merah, merupakan isu penting yang berpengaruh signifikan terhadap stabilitas ekonomi dan daya beli masyarakat. Dinamika harga tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh mekanisme pasar domestik, tetapi juga oleh faktor makroekonomi seperti nilai tukar Rupiah serta perbedaan kondisi sosial ekonomi, infrastruktur, dan geografis antarwilayah. Kompleksitas hubungan antarpeubah dan keragaman pola temporal di setiap daerah menuntut pendekatan analisis yang mampu menangkap keterkaitan dinamis antarvariabel secara simultan. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan model peramalan berbasis *multivariate time series* dengan mengintegrasikan pendekatan ekonometrika dan pembelajaran mesin melalui kombinasi VECMX dan LSTM pada data harga pangan 34 ibu kota provinsi di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik volatilitas harga pangan di berbagai wilayah Indonesia, menganalisis pengaruh nilai tukar Rupiah terhadap dinamika harga, mengoptimalkan strategi penggerombolan wilayah berdasarkan kesamaan pola pergerakan harga, peramalan harga komoditas pangan untuk 22 periode mendatang, serta mengevaluasi ketahanan model dalam menghadapi berbagai kondisi pasar melalui skema simulasi. Pemodelan peramalan dilakukan menggunakan tiga pendekatan utama, yaitu VECMX, LSTM, dan *hybrid* VECMX–LSTM yang memanfaatkan residual model linear sebagai input bagi LSTM untuk menangkap pola nonlinier. Penggerombolan wilayah dilakukan menggunakan algoritma *K-Means* berbasis jarak DTW dengan input data hasil peramalan model individu menggunakan pendekatan *predictive-based*. Penentuan nilai K optimal menggunakan Elbow dan Silhouette Score, serta kualitas gerombol dievaluasi kembali dengan DBI. Evaluasi dan validasi performa model peramalan dilakukan secara kuantitatif menggunakan MAPE dan uji Wilcoxon. Selain itu, dilakukan evaluasi visual melalui grafik pola hasil peramalan individu dan gerombol guna memperkuat interpretasi kuantitatif dan memastikan kesesuaian pola temporal antara prediksi dan observasi. Analisis dilakukan pada data empiris dan data simulasi dengan tiga skenario yaitu peningkatan volatilitas 1.5 kali dan 2 kali, serta penambahan tren untuk menguji ketahanan model perubahan harga jangka panjang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik volatilitas harga pangan antarwilayah di Indonesia bersifat heterogen. Wilayah Indonesia bagian timur seperti Papua, Maluku, dan Manokwari memiliki tingkat harga lebih tinggi dengan volatilitas yang relatif stabil, sedangkan wilayah barat cenderung menunjukkan fluktuasi yang lebih dinamis. Perbedaan ini mencerminkan ketimpangan struktur pasar dan distribusi antarwilayah yang memengaruhi pergerakan harga komoditas pangan secara spasial. Berdasarkan hasil pemodelan VECMX, nilai tukar Rupiah berpengaruh signifikan terhadap dinamika harga ketiga komoditas pangan, terutama melalui mekanisme biaya impor dan distribusi, meskipun pengaruh relatifnya lebih kecil. Hasil uji kointegrasi dan kausalitas menunjukkan adanya

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

hubungan jangka panjang antar komoditas, yang diperkuat oleh nilai ECT yang signifikan, menandakan bahwa setiap komoditas memiliki mekanisme penyesuaian terhadap ketidakseimbangan harga jangka panjang.

Kombinasi model VECMX dan LSTM melalui pendekatan *hybrid* terbukti meningkatkan akurasi dan stabilitas peramalan di seluruh wilayah dan skenario simulasi. Model *hybrid* memperoleh nilai MAPE di bawah 10%, menandakan tingkat akurasi sangat baik. Model ini mampu menangkap hubungan struktural jangka panjang sekaligus fluktuasi nonlinier jangka pendek secara simultan. Hasil peramalan 22 periode ke depan menggunakan model *hybrid* menunjukkan bahwa harga beras cenderung meningkat secara moderat dan stabil, harga telur ayam mengalami peningkatan yang konsisten, sementara harga bawang merah memperlihatkan fluktuasi yang lebih tajam dengan interval naik-turun yang lebih pendek, menandakan volatilitas yang tinggi pada sektor hortikultura.

Pendekatan penggerombolan wilayah berbasis DTW berhasil mengelompokkan 34 wilayah ke dalam tiga gerombol utama dengan pola harga yang serupa. Hasil evaluasi menunjukkan nilai Silhouette Score sebesar 0.45 dan Davies–Bouldin Index sebesar 0.67, menandakan kualitas penggerombolan yang baik dan stabil terhadap variasi data. Model berbasis gerombol menghasilkan akurasi yang sebanding dengan model individu namun lebih efisien secara komputasi dan tetap stabil terhadap perubahan kondisi pasar. Berdasarkan evaluasi MAPE, uji Wilcoxon, serta visualisasi hasil peramalan, pendekatan penggerombolan terbukti mampu merepresentasikan pola umum harga antarwilayah tanpa kehilangan karakteristik utama hasil peramalan individu, sekaligus menunjukkan konsistensi performa antarulang pengujian.

Pengujian melalui skenario simulasi menunjukkan bahwa model *hybrid* tetap stabil dan konsisten meskipun terjadi peningkatan volatilitas hingga dua kali lipat dan penambahan tren kebijakan. Tidak terdapat perbedaan signifikan antara hasil peramalan pada level individu dan gerombol, yang mengindikasikan bahwa pendekatan spasio-temporal multivariat ini robust terhadap perubahan struktur pasar dan dinamika eksternal. Dengan demikian, pendekatan penggerombolan tidak dimaksudkan untuk menggantikan pemodelan individu, tetapi menjadi alternatif yang sangat efektif dan efisien dalam menangani peramalan harga pangan berskala besar, karena mampu mempertahankan ketepatan prediksi sambil mengurangi kompleksitas komputasi dan redundansi pemodelan antarwilayah.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa integrasi model *hybrid* dengan pendekatan penggerombolan berbasis DTW mampu menggambarkan dinamika spasio-temporal harga pangan di Indonesia secara komprehensif. Pendekatan ini efektif dalam menghasilkan prediksi dengan tingkat akurasi tinggi, tangguh terhadap berbagai skenario volatilitas, serta memberikan pemahaman mendalam mengenai keterkaitan struktural antar komoditas dan antarwilayah. Pendekatan ini juga dapat menjadi pendekatan alternatif yang efisien, andal, dan berpotensi besar untuk mendukung kebijakan stabilisasi harga pangan yang berbasis bukti dan berskala nasional.

Kata kunci: DTW berbasis K-Means, harga komoditas pangan, *hybrid* VECMX-LSTM, *multivariate clustering time-series*, nilai kurs rupiah



SUMMARY

DHIYA ULAYYA TSABITAH. A Study of Forecasting Models for Three Food Commodity Prices Across 34 Provincial Capital Cities Using a Multivariate Time Series Approach. Supervised by YENNI ANGRAINI and I MADE SUMERTA JAYA.

Fluctuations in food prices in Indonesia, particularly for rice, chicken eggs, and shallots, represent a critical issue that significantly influences economic stability and household purchasing power. These price dynamics are shaped not only by domestic market mechanisms but also by macroeconomic factors such as the Rupiah exchange rate, as well as socio-economic, infrastructural, and geographical disparities across regions. The complexity of inter-variable relationships and the heterogeneity of temporal patterns across provinces necessitate an analytical approach capable of capturing dynamic interdependencies simultaneously. Therefore, this study develops a multivariate time series forecasting model that integrates econometric and machine learning approaches through a hybrid combination of VECMX and LSTM using food price data from 34 provincial capitals in Indonesia.

The study aims to identify the characteristics of food price volatility across regions in Indonesia, analyze the impact of the Rupiah exchange rate on price dynamics, optimize regional clustering strategies based on similarities in price movement patterns, forecast food prices for the next 22 periods, and evaluate the model's robustness under various market conditions through simulation scenarios. The forecasting framework employs three main modeling approaches, VECMX, LSTM, and hybrid VECMX-LSTM, where the residuals from the linear model serve as input for the LSTM to capture nonlinear patterns. Regional clustering is performed using a DTW-based K-Means algorithm with predictive-based input from individual model forecasts. The optimal number of clusters (K) is determined using the Elbow and Silhouette Score methods, while gerombol quality is assessed using the DBI. Model performance is quantitatively evaluated using MAPE and the Wilcoxon test, complemented by visual evaluation through comparative plots of individual and clustered forecasts to validate temporal consistency between predictions and observations. Analyses are conducted on both empirical and simulated data under three scenarios: volatility increases of 1.5x and 2x, and an added trend component to test model resilience under long-term market shifts.

The results reveal that food price volatility across Indonesian regions is heterogeneous. Eastern regions such as Papua, Maluku, and Manokwari exhibit higher price levels with relatively stable volatility, while western regions display more dynamic fluctuations. These disparities reflect structural and distributional inequalities that shape the spatial dynamics of food prices. The VECMX model confirms that the Rupiah exchange rate significantly affects price movements of the three commodities, mainly through import and distribution cost mechanisms, although the magnitude of this effect is relatively smaller compared to inter-commodity relationships. Cointegration and causality tests indicate both long- and short-term relationships among commodities, reinforced by significant ECT, signifying each commodity's adjustment mechanism toward long-run equilibrium.

The hybrid VECMX–LSTM model demonstrates superior forecasting accuracy and stability across all regions and simulation scenarios, achieving MAPE values below 10%, which indicates excellent predictive performance. This hybrid approach effectively captures both structural long-term relationships and nonlinear short-term fluctuations. Forecasts for the next 22 periods show that rice prices are projected to rise moderately and remain stable, chicken egg prices to steadily increase, and shallot prices to fluctuate sharply with shorter up-and-down intervals, illustrating higher volatility in the horticultural sector.

The DTW-based clustering approach successfully grouped the 34 regions into three main clusters with similar price movement patterns. Evaluation results show a Silhouette Score of 0.45 and a Davies–Bouldin Index of 0.67, indicating good clustering quality and robustness to data variations. Gerombol-based models achieved accuracy comparable to individual models while being more computationally efficient and stable under changing market conditions. Based on MAPE, Wilcoxon tests, and visual comparisons, the clustering approach effectively represents general interregional price dynamics without losing the distinctive features of individual forecasts, maintaining consistency across repetitions and scenarios.

Simulation-based experiments further confirm that the hybrid model remains stable and consistent even under increased volatility and added policy trend scenarios. No significant difference was found between individual- and gerombol-level forecasts, suggesting that this spatio-temporal multivariate approach is robust to structural and external market changes. Consequently, the clustering approach is not intended to replace individual modeling, but rather serves as a highly effective and efficient alternative for large-scale food price forecasting, maintaining predictive accuracy while reducing computational complexity and redundancy across regions.

Overall, this study demonstrates that integrating a hybrid VECMX–LSTM model with a DTW-based clustering framework can comprehensively capture the spatio-temporal dynamics of food prices in Indonesia. The proposed approach delivers highly accurate, robust, and interpretable forecasts, offering deep insights into structural linkages across commodities and regions. This method provides a reliable and scalable analytical foundation to support evidence-based, adaptive policymaking for national food price stabilization.

Keywords: DTW-based K-Means, exchange rate, food commodity prices, hybrid VECMX-LSTM, multivariate clustering time-series



@Hak cipta milik IPB University

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.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
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.

KAJIAN MODEL PERAMALAN TIGA HARGA KOMODITAS PANGAN UNTUK 34 IBU KOTA PROVINSI DENGAN PENDEKATAN MULTIVARIATE TIME SERIES

DHIYA ULAYYA TSABITAH

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
2025**



@Hak cipta milik IPB University

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





Judul Tesis : Kajian Model Peramalan Tiga Harga Komoditas Pangan Untuk 34
Ibu Kota Provinsi Dengan Pendekatan Multivariate Time Series
Nama : Dhiya Ulayya Tsabitah
NIM : M0501241094

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Yenni Angraini, S.Si, M.Si



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. I Made Sumertajaya, M.Si



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Agus Mohammad Soleh, S.Si., M.T.
NIP. 197503151999031004

Dekan Sekolah Sains Data, Matematika, dan Informatika :
Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom.
NIP. 196607021993021001

Tanggal Ujian:
17 November 2025

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 kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Desember 2024 sampai bulan November 2025 ini ialah penggerombolan dan peramalan berbasis *multivariate time series*, dengan judul “Kajian Model Peramalan Tiga Harga Komoditas Pangan Untuk 34 Ibu Kota Provinsi Dengan Pendekatan Multivariate Time Series”.

Terselesaikannya karya ilmiah ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Yenni Angraini, S.Si, M.Si dan Bapak Dr. Ir. I Made Sumertajaya, M.Si selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan semangat, nasihat, saran, dan arahan pada penulis untuk menyelesaikan karya ilmiah ini dengan sangat baik.
2. Keluarga besar Program Studi Statistika dan Sains Data yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat serta membantu kebutuhan administrasi penulis selama masa perkuliahan dan penyusunan karya ilmiah ini.
3. Bank Indonesia dan Badan Pusat Statistik sebagai instansi otoritatif yang menyediakan data digunakan dalam penelitian ini.
4. Teman-teman Program Studi Statistika dan Sains Data yang selalu ada untuk kebersamaan, memberikan dukungan dan berjuang bersama selama perkuliahan.
5. Bapak Dwi Arso Yedi Irwanto dan Ibu Siti Nikmatin selaku orang tua penulis dan seluruh keluarga yang telah memberikan dorongan, semangat, perhatian, dan kasih sayang yang luar biasa selama ini kepada penulis.
6. Seluruh pihak terkait yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang sudah memberikan dukungan dan bantuan dalam penyelesaian karya ilmiah ini.

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

Bogor, November 2025

Dhiya Ulayya Tsabitah



@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	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Time Series Clustering</i>	4
2.2 Penentuan Jumlah <i>Clustering</i>	6
2.3 <i>Vector Autoregressive (VAR)</i>	8
2.4 Hubungan Kointegrasi	9
2.5 <i>Vector Error Correction Model (VECM)</i>	10
2.6 <i>Vector Error Correction Model with Exogenous Variables</i>	10
2.7 <i>Long Short-Term Memory (LSTM)</i>	11
2.8 <i>Hybrid Model</i>	11
2.9 Ukuran Ketepatan Hasil Peramalan	12
III METODE	14
3.1 Data Penelitian	14
3.2 Metode Penelitian	14
IV EVALUASI KINERJA PADA DATA EMPIRIS	19
4.1 Pra-proses dan Eksplorasi Data Empiris	19
4.2 Cek Stasioneritas	23
4.3 Uji Kausalitas dan <i>Cross Correlation Function (CCF)</i>	24
4.4 Uji Kointegrasi	26
4.5 Splitting Data	27
4.6 Pemodelan Level-Individu	28
4.7 Perbandingan Pemodelan Level Individu	38
4.8 <i>Clustering</i> 34 Wilayah	40
4.9 <i>Profiling</i> Hasil <i>Clustering</i> dan Pembuatan Data Prototipe	48
4.10 Pemodelan Level Gerombol	52
4.11 Validasi Hasil Peramalan Individu dan <i>Gerombol</i>	53
4.12 Peramalan Harga Periode Mendatang	58
4.13 Data Hasil Peramalan Individu dan Gerombol pada Bulan Januari	62
V EVALUASI KINERJA PADA DATA SIMULASI	64
5.1 Pembangkitan Data Simulasi	64
5.2 Pemodelan Data Simulasi Level Individu	67
5.3 Pengaruh Peningkatan Harga Komoditas Bawang Merah	71
5.4 <i>Clustering</i>	72
5.5 <i>Profiling</i> Hasil <i>Clustering</i> dan Data Prototipe Simulasi	76
5.6 Pemodelan Data Simulasi Level Gerombol	81
5.7 Evaluasi Hasil Peramalan Individu dan Gerombol Data Simulasi	82



5.8	Evaluasi Konsistensi dan Stabilitas Model	85
VI	SIMPULAN DAN SARAN	87
6.1	Simpulan	87
6.2	Saran	88
	DAFTAR PUSTAKA	89
	LAMPIRAN	92
	RIWAYAT HIDUP	115



DAFTAR TABEL

1	Kategori penggerombolan berdasarkan koefisien <i>silhouette</i>	7
2	Rentang penilaian akurasi MAPE dalam pemodelan	13
3	Kombinasi <i>hyperparameter</i> LSTM	16
4	Skenario data simulasi	17
5	Hasil pengujian kausalitas antar peubah endogen	24
6	Plot CCF untuk masing-masing komoditas dan wilayah (a) beras-telur, (b) telur-bawang merah , dan (c) beras-bawang merah	25
7	Hasil pengujian kointegrasi	27
8	Pemilihan lag optimal pada masing-masing wilayah berdasarkan AIC, FPE dan HQIC	29
9	Hasil pemodelan VECMX pada setiap wilayah	30
10	Nilai-p hasil pengujian diagnostik residual pada setiap wilayah	32
11	Hasil estimasi parameter model VECMX per komoditas	33
12	Hasil pemodelan LSTM pada setiap wilayah	35
13	Hasil pemodelan <i>hybrid</i> pada masing-masing wilayah	37
14	Hasil penggerombolan wilayah K=6 dan K=8	44
15	Hasil penggerombolan wilayah K=3 dan K=6 menggunakan MDS	47
16	Pengujian kointegrasi level- <i>gerombol</i> dan pemilihan lag optimal	52
17	Hasil pemodelan VECMX dan <i>hybrid</i> level- <i>gerombol</i>	53
18	Validasi hasil peramalan gerombol dan individu menggunakan perbandingan nilai MAPE	54
19	Perbandingan nilai-p hasil peramalan <i>gerombol</i> dan individu menggunakan <i>Wilcoxon test</i>	56
20	Data hasil peramalan gerombol dan individu pada bulan Januari 2025	62
21	Evaluasi akurasi model VECMX pada tiga skenario volatilitas dan tren	68
22	Evaluasi model <i>hybrid</i> VECMX-LSTM pada tiga skenario simulasi	70
23	Hasil estimasi parameter model VECMX per komoditas pada skenario 3	72
24	Perbandingan evaluasi penggerombolan 34 wilayah pada setiap skenario simulasi	75
25	Hasil uji kointegrasi dan akurasi model VECMX dan <i>hybrid</i> di tiga skenario simulasi	81
26	Validasi hasil peramalan gerombol dan individu menggunakan perbandingan nilai MAPE untuk setiap skenario simulasi	82
27	Perbandingan nilai-p hasil peramalan gerombol dan individu menggunakan <i>Wilcoxon test</i> di setiap skenario simulasi	83
28	Hasil evaluasi nilai silhouette score dan davies bouldin index pada tiga kali pengulangan <i>clustering</i> di tiga skenario simulasi	85



DAFTAR GAMBAR

1	Alur pelaksanaan penelitian (a) simulasi dan (b) empiris	15
2	Plot nilai tukar rupiah	19
3	Analisis visualisasi line plot untuk tiga harga komoditas pangan (a) beras, (b) telur ayam, dan (c) bawang merah	21
4	Analisis visualisasi <i>map plot</i> untuk tiga harga komoditas pangan Desember 2024 (a) beras, (b) telur ayam, dan (c) bawang merah	22
5	Visualisasi hasil evaluasi pemodelan di tiga metode (a) RMSE (b) MAPE	39
6	Boxplot perbandingan hasil evaluasi (a) RMSE dan (b) MAPE	40
7	Matriks jarak DTW untuk (a) beras, (b) telur ayam, (c) bawang merah	41
8	Matriks jarak DTW rata-rata antarkomoditas	42
9	Penentuan K awal untuk setiap pendekatan <i>clustering</i> (a) elbow method dan (b) silhouette score	43
10	<i>Profiling</i> wilayah hasil penggerombolan K-Means (a) K=6 dan (b) K=8	45
11	Penentuan K awal untuk setiap pendekatan <i>clustering</i> dengan MDS (a) elbow dan (b) silhouette score	46
12	<i>Mapping</i> wilayah hasil penggerombolan K-Means menggunakan MDS (a) K=3 dan (b) K=6	48
13	<i>Profiling gerombol</i> hasil penggerombolan wilayah K=3 pada Gerombol 1 (a) beras, (b) telur ayam, (c) bawang merah, Gerombol 2 (d) beras, (e) telur ayam, (f) bawang merah, dan Gerombol 3 (g) beras, (h) telur ayam, (i) bawang merah	49
14	<i>Profiling gerombol</i> hasil penggerombolan wilayah K=6 Gerombol 2 (a) beras, (b) telur ayam, dan Gerombol 6 (c) beras, (d) telur ayam	51
15	Grafik perbandingan peramalan individu dan <i>gerombol</i> (a) beras, (b) telur ayam, (c) bawang merah	57
16	Peramalan 22 periode mendatang pada Gerombol 1 (a) beras, (b) telur ayam, (c) bawang merah dan Gerombol 2 (d) beras, (e) telur ayam, (f) bawang merah	58
17	Peramalan 22 periode mendatan pada Gerombol 3 (a) beras, (b) telur ayam, dan (c) bawang merah	61
18	Visualisasi data simulasi (a) beras volatilitas 1.5x, (b) telur volatilitas 1.5x, (c) beras volatilitas 2x, (d) telur volatilitas 2x	65
19	Perbandingan visualisasi hasil pada harga bawang (a) skenario 1, (b) skenario 2, dan (c) skenario 3	66
20	Perbandingan data empiris dan simulasi penambahan volatilitas 1.5x serta tren jangka panjang harga bawang merah di Tanjung Selor	67
21	Distribusi nilai MAPE model VECMX dan <i>hybrid</i> pada tiga skenario simulasi volatilitas	71
22	Grafik elbow dan silhouette score untuk ketiga skenario (a) volatilitas 1.5x, (b) volatilitas 2x, dan (c) volatilitas dan tren	73
23	Perbandingan hasil penggerombolan 34 wilayah pada 3 skenario simulasi berbeda (a) volatilitas 1.5x, (b) volatilitas 2x, dan (c) intervensi harga	74

24	Profiling wilayah antar skenario pada komoditas bawang merah Gerombol 3 (a) volatilitas 1.5x, (2) volatilitas 2x, dan (3) volatilitas 1.5x dengan penambahan tren	78
25	Profiling wilayah antar gerombol pada skenario volatilitas 1.5x komoditas bawang merah (a) Gerombol 1, (2) Gerombol 2, dan (3) Gerombol 3	79
26	Profiling wilayah antar komoditas pada skenario volatilitas 1.5x Gerombol 1 (a) beras, (b) telur, dan (c) bawang merah	80
27	Grafik perbandingan peramalan individu dan gerombol (a) beras, (b) telur ayam, (c) bawang merah pada wilayah Ternate	84
28	Perbandingan nilai MAPE hasil peramalan model individu dan gerombol pada tiga kali pengulangan di berbagai skenario simulasi	86

DAFTAR LAMPIRAN

1	Perbandingan hasil peramalan individu dan gerombol untuk masing-masing wilayah (a) beras, (b) telur ayam, dan (c) bawang merah	93
2	Hasil pengujian kointegrasi johansen dan penentuan lag optimum pada tiga skenario simulasi dengan tiga kali pengulangan	98
3	Profiling wilayah di setiap komoditas pangan pada tiga skenario simulasi (a) beras, (b) telur ayam, dan (c) bawang merah	101
4	Validasi hasil peramalan gerombol dan individu menggunakan perbandingan nilai MAPE untuk setiap skenario simulasi	105
5	Perbandingan hasil peramalan individu dan gerombol untuk masing-masing wilayah pada setiap skenario (a) beras, (b) telur ayam, dan (c) bawang merah	108
6	Visualisasi hasil perbandingan peramalan selama 22 periode pada level individu dan gerombol untuk setiap skenario simulasi dan gerombol pada tiga kali pengulangan (a) volatilitas 1.5x, (b) volatilitas 2x, dan (c) volatilitas 1.5x dan tren	113

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin 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.