

PERBANDINGAN KINERJA ANFIS DAN HYBRID GA-SVM PADA DATA DERET WAKTU NONLINIER DAN MEMILIKI VOLATILITAS TINGGI

SRI KUSTIARA



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



@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 “Perbandingan Kinerja ANFIS dan Hybrid GA-SVM pada Data Deret Waktu Nonlinier dan Memiliki Volatilitas Tinggi” 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, Agustus 2026

Sri Kustiara
G1501221015



RINGKASAN

SRI KUSTIARA. Perbandingan Kinerja ANFIS dan Hybrid GA-SVM pada Data Deret Waktu Nonlinier dan Memiliki Volatilitas Tinggi. Dibimbing oleh KUSMAN SADIK dan HARI WIJAYANTO.

Data deret waktu ekonomi dan komoditas sering memiliki pola musiman, perubahan volatilitas, dan hubungan prediktor-respons nonlinier yang dapat menyebabkan perbedaan kinerja metode peramalan. Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja ANFIS, GA-SVM, dan SVM pada data empiris harga batu bara Indonesia, mengevaluasi kinerja ketiga metode pada berbagai kondisi data simulasi, serta menyusun proyeksi harga batu bara dua belas bulan ke depan.

Data empiris terdiri atas 262 observasi bulanan periode Januari 2004 hingga Oktober 2025. Data simulasi dibangkitkan menggunakan rancangan faktorial $2 \times 3 \times 2$ yang mencakup dua taraf musiman, tiga taraf volatilitas, serta hubungan prediktor-respons linier dan nonlinier. Sebanyak 12 skenario direplikasi 100 kali sehingga diperoleh 1.200 unit simulasi dan 3.600 hasil evaluasi. Kinerja model dievaluasi menggunakan *walk-forward validation* dengan skema *expanding window* dan horizon satu langkah ke depan. RMSE digunakan sebagai ukuran utama, sedangkan MAE dan MAPE sebagai ukuran pendukung. RMSE simulasi dianalisis menggunakan ANOVA faktorial dengan metode sebagai faktor dalam-unit, koreksi Greenhouse-Geisser, *partial eta squared*, uji Tukey, uji *t* berpasangan dengan penyesuaian Holm, dan analisis sensitivitas *cluster-robust*.

Pada data simulasi, GA-SVM menghasilkan rata-rata RMSE global terendah sebesar 1,7184, diikuti SVM sebesar 1,7231 dan ANFIS sebesar 1,7979. Volatilitas memberikan pengaruh relatif terbesar terhadap RMSE dengan *partial eta squared* sebesar 0,7617, diikuti musiman sebesar 0,3689 dan bentuk hubungan prediktor-respons sebesar 0,1129. Kinerja metode berbeda menurut kondisi simulasi. ANFIS cenderung unggul pada volatilitas rendah terutama untuk hubungan linier, SVM pada musiman lemah dengan hubungan nonlinier, sedangkan GA-SVM pada musiman kuat dengan volatilitas sedang hingga tinggi. Dengan demikian, tidak terdapat satu metode yang konsisten unggul pada seluruh kondisi simulasi.

Pada data empiris, SVM dan GA-SVM menunjukkan kinerja yang setara dan menghasilkan galat lebih rendah dibandingkan ANFIS. SVM dan GA-SVM menghasilkan RMSE sebesar 50,8671, MAE sebesar 27,3441, dan MAPE sebesar 14,0598%, sedangkan ANFIS menghasilkan RMSE sebesar 74,9300, MAE sebesar 41,7359, dan MAPE sebesar 21,5062%. Proyeksi November 2025 hingga Oktober 2026 dilakukan secara rekursif dengan mempertahankan prediktor eksternal pada nilai Oktober 2025 sebagai skenario persistensi. SVM dan GA-SVM menghasilkan lintasan proyeksi yang sama, sedangkan ANFIS menunjukkan perubahan yang lebih berfluktuasi. Akurasi proyeksi belum dapat dievaluasi karena nilai aktual periode proyeksi belum tersedia. Secara keseluruhan, kinerja metode dipengaruhi oleh karakteristik data yang dianalisis.

Kata Kunci: ANFIS, data deret waktu, GA-SVM, simulasi faktorial, volatilitas.

SUMMARY

SRI KUSTIARA. Comparison of ANFIS and Hybrid GA-SVM Performance on Nonlinear Time Series Data with High Volatility. Supervised by KUSMAN SADIK and HARI WIJAYANTO.

Economic and commodity time series often exhibit seasonal patterns, changing volatility, and nonlinear predictor–response relationships that may lead to differences in forecasting performance. This study aimed to compare the performance of ANFIS, GA-SVM, and SVM on empirical Indonesian coal price data, evaluate the performance of the three methods under various simulated data conditions, and generate twelve-month coal price projections.

The empirical data consisted of 262 monthly observations from January 2004 to October 2025. The simulated data were generated using a $2 \times 3 \times 2$ factorial design comprising two levels of seasonality, three levels of volatility, and linear and nonlinear predictor-response relationships. The 12 scenarios were replicated 100 times, resulting in 1,200 simulation units and 3,600 evaluation results. Model performance was evaluated using *walk-forward validation* with an *expanding window* scheme and a one-step-ahead horizon. RMSE was used as the primary measure, while MAE and MAPE were used as supporting measures. Simulation RMSE was analyzed using factorial ANOVA with method as a within-unit factor, the Greenhouse-Geisser correction, *partial eta squared*, Tukey’s test, paired *t*-tests with Holm adjustment, and *cluster-robust* sensitivity analysis.

For the simulated data, GA-SVM produced the lowest global mean RMSE of 1.7184, followed by SVM at 1.7231 and ANFIS at 1.7979. Volatility had the largest relative effect on RMSE, with a *partial eta squared* of 0.7617, followed by seasonality at 0.3689 and predictor-response relationship form at 0.1129. Method performance varied across simulation conditions. ANFIS tended to perform better under low volatility, particularly for linear relationships; SVM performed better under weak seasonality with nonlinear relationships; whereas GA-SVM performed better under strong seasonality with moderate to high volatility. Thus, no single method consistently outperformed the others across all simulation conditions.

For the empirical data, SVM and GA-SVM showed equivalent performance and produced lower errors than ANFIS. SVM and GA-SVM achieved an RMSE of 50.8671, an MAE of 27.3441, and a MAPE of 14.0598%, whereas ANFIS produced an RMSE of 74.9300, an MAE of 41.7359, and a MAPE of 21.5062%. Projections for November 2025 to October 2026 were generated recursively by holding the external predictors at their October 2025 values as a persistence scenario. SVM and GA-SVM produced identical projection trajectories, whereas ANFIS showed more fluctuating changes. Projection accuracy could not yet be evaluated because the actual values for the projection period were unavailable. Overall, model performance was influenced by the characteristics of the data being analyzed.

Keywords: ANFIS, factorial simulation, GA-SVM, time series, volatility.



- 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.

PERBANDINGAN KINERJA ANFIS DAN HYBRID GA-SVM PADA DATA DERET WAKTU NONLINIER DAN MEMILIKI VOLATILITAS TINGGI

SRI KUSTIARA

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

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.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tesis:
Dr. Bagus Sartono, S.Si., M.Si.



Judul Tesis : Perbandingan Kinerja ANFIS dan Hybrid GA-SVM pada Data Deret Waktu Nonlinier dan Memiliki Volatilitas Tinggi

Nama : Sri Kustiara

NIM : G1501221015

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Kusman Sadik, S.Si., M.Si.



Pembimbing 2:

Prof. Dr. Ir. Hari Wijayanto, M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

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

NIP 197503151999031004



Dekan Sekolah Sains Data, Matematika, dan Informatika

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

NIP 196607021993021001



Tanggal Ujian: 10 Agustus 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.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan 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.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga tesis ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ialah peramalan *time series*, dengan judul “Perbandingan Kinerja ANFIS dan Hybrid GA-SVM pada Data Deret Waktu Nonlinier dan Memiliki Volatilitas Tinggi”.

Keberhasilan penulisan karya ilmiah ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Terima kasih penulis ucapkan kepada Dr. Kusman Sadik, S.Si., M.Si., dan Prof. Dr. Ir. Hari Wijayanto, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, saran, dan arahan dalam menyelesaikan tesis ini. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Dr. Farit Mochamad Afendi, S.Si., M.Si. selaku pemimpin ujian tesis, dan Dr. Bagus Sartono, S.Si., M.Si. selaku penguji luar komisi pembimbing yang telah membantu lancarnya proses penyelesaian tugas akhir penulis. Terima kasih pula kepada seluruh staf pengajar Program Studi Statistika dan Sains Data yang telah banyak memberikan ilmu dan pengajaran selama perkuliahan sampai dengan penyusunan karya ilmiah ini. Terima kasih kepada Kementerian Perdagangan, Badan Pusat Statistik (BPS), dan Bank Dunia yang telah menyediakan data untuk penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada teman-teman Statistika dan Sains Data atas kebersamaannya. Ungkapan terima kasih terkhusus penulis sampaikan kepada kedua orang tua, kakak dan seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan motivasi kepada penulis.

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

Bogor, Agustus 2026

Sri Kustiara



@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	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Karakteristik Data Deret Waktu	5
2.2 <i>Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System</i> (ANFIS)	5
2.3 <i>Support Vector Machine</i> (SVM)	8
2.4 <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	9
2.5 Model <i>hybrid</i> GA-SVM	11
2.6 Normalisasi Data	11
2.7 Evaluasi Model	12
2.8 Rancangan Faktorial dan Analisis Varians	14
III METODE	18
3.1 Data	18
3.1.1 Data Empiris	18
3.1.2 Data Simulasi	19
3.2 Desain Faktorial dan Skenario Simulasi	19
3.2.1 Mekanisme Pembangkitan Data Simulasi	19
3.2.2 Faktor dan Taraf Simulasi	23
3.2.3 Skenario dan Nilai Parameter	24
3.2.4 Parameter Pembangkitan Prediktor Sintesis	25
3.2.5 Ringkasan Formula Simulasi	25
3.3 Prosedur Analisis Data	26
3.3.1 Prosedur Analisis Data Empiris	26
3.3.2 Prosedur Analisis Data Simulasi	30
3.4 Evaluasi Kinerja dan Analisis ANOVA	32
3.4.1 Metrik Evaluasi Kinerja Peramalan	32
3.4.2 Penyusunan Data Hasil Simulasi	33
3.4.3 ANOVA Faktorial dengan Metode sebagai Faktor Dalam Unit	34
3.4.4 Model ANOVA Faktorial dan Strata Galat	34
3.4.5 Pengaruh Utama dan Interaksi yang Diuji	34
3.4.6 Hipotesis Pengujian	35
3.4.7 Ukuran Pengaruh	36
3.4.8 Kriteria Keputusan Uji dan Analisis Lanjutan	36
3.4.9 Penentuan Interaksi Berdasarkan Orde dan Kontras Kondisional	37
3.5 Penentuan Kinerja Metode dan Penyusunan Proyeksi	37
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Evaluasi Data Empiris	41
4.1.1 Karakteristik Deret Harga Batu Bara	41

4.1.2	Evaluasi Kinerja melalui <i>Walk-Forward Validation</i>	45
4.2	Evaluasi Data Simulasi	47
4.2.1	Verifikasi Pembangkitan Data Simulasi	47
4.2.2	Kelengkapan dan Keseimbangan Data Simulasi	50
4.2.3	Perbandingan Kinerja Metode pada Data Simulasi	51
4.2.4	Distribusi RMSE Antar Metode pada Data Simulasi	51
4.2.5	Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksi terhadap RMSE	52
4.2.6	Uji Lanjut dan Analisis Sensitivitas terhadap Variasi Struktur Data	55
4.3	Keterkaitan Hasil Empiris dan Simulasi	59
4.4	Proyeksi Harga Batu Bara Dua Belas Bulan ke Depan	60
	SIMPULAN DAN SARAN	62
5.1	Simpulan	62
5.2	Saran	62
	DAFTAR PUSTAKA	63
	LAMPIRAN	67
	RIWAYAT HIDUP	82

DAFTAR TABEL

2.1	Struktur ANOVA faktorial dengan metode sebagai faktor dalam-unit	15
3.1	Struktur peubah data empiris	18
3.2	Faktor dan taraf rancangan faktorial	23
3.3	Skenario simulasi dan nilai parameter	24
3.4	Parameter pembangkitan prediktor sintesis	25
3.5	Ringkasan formula simulasi	26
3.6	Struktur data ANOVA faktorial	33
3.7	Hipotesis ANOVA faktorial	35
4.1	Hasil uji <i>augmented Dickey-Fuller</i> (ADF)	42
4.2	Kinerja model pada evaluasi <i>Walk-Forward</i> data empiris	45
4.3	Verifikasi bentuk hubungan prediktor-respons	49
4.4	Ringkasan statistik RMSE dan MAE pada data simulasi	51
4.5	Analisis varians faktorial terhadap RMSE	52
4.6	Interaksi dengan ukuran pengaruh terbesar berdasarkan orde	54
4.7	Kondisi dengan kontras interaksi terbesar	54
4.8	Rataan RMSE menurut taraf volatilitas pada setiap kondisi	56
4.9	Ringkasan perbandingan metode pada setiap kondisi simulasi	57
4.10	Proyeksi harga batu bara Indonesia November 2025-Oktober 2026	60

DAFTAR GAMBAR

2.1	Arsitektur ANFIS	6
3.1	Diagram alir kajian simulasi	22
3.2	Diagram alir prosedur analisis penelitian	30
4.1	Pergerakan log harga batu bara	41
4.2	Simpangan baku bergerak harga batu bara dengan jendela 12 bulan	43
4.3	ACF dan PACF logaritma harga batu bara	44
4.4	Perbandingan kinerja model pada evaluasi <i>Walk-Forward</i>	46
4.5	Perbandingan aktual dan prediksi model pada evaluasi <i>walk-forward</i>	46
4.6	Deret waktu pada empat kondisi simulasi representatif	48
4.7	Verifikasi bentuk hubungan linier dan nonlinier	50
4.8	<i>Boxplot</i> distribusi RMSE antar metode pada data simulasi	52
4.9	Interaksi musiman dan volatilitas terhadap RMSE	55
4.10	Rataan marginal RMSE menurut taraf volatilitas pada setiap metode	58
4.11	Diagnostik residual ANOVA	58
4.12	Perbandingan proyeksi harga batu bara Indonesia	61



DAFTAR LAMPIRAN

1	Nilai aktual dan hasil prediksi ANFIS, GA-SVM, dan SVM pada evaluasi <i>walk-forward</i> data empiris	69
	Ringkasan RMSE dan MAE ANFIS, GA-SVM, dan SVM pada setiap skenario simulasi	72
	Hasil lengkap ANOVA faktorial terhadap RMSE	74
	Ringkasan uji coba awal pemilihan taraf faktor simulasi	76
	Hasil uji lanjut, diagnostik residual, dan analisis sensitivitas	77