

Evaluasi Prediksi Harga Saham Nokia Menggunakan LSTM Univariat dengan Pendekatan Walk-Forward Validation

Roni Saputra^{1,*}, Martanto², Raditya dana Dana³, Dodi Solihudin⁴, Tati Suprapti⁵

^{1,4,5}Teknik Informatika, STMIK IKMI Cirebon, Jl. Perjuangan No.10 Cirebon, 45135

^{2,3}Manajemen Informatika, STMIK IKMI Cirebon, Jl. Perjuangan No.10 Cirebon, 45135

roni.ryuk@gmail.com¹

Abstrak

Prediksi harga saham merupakan tantangan sentral di pasar modal yang kompleks dan volatil. Meskipun model pembelajaran mendalam seperti Long Short-Term Memory (LSTM) telah menunjukkan potensi, banyak penelitian mengabaikan masalah multikolinearitas pada model multivariat dan menggunakan metode evaluasi yang tidak realistik. Untuk mengatasi ini, penelitian ini mengembangkan model prediksi harga saham Nokia menggunakan arsitektur LSTM univariat yang hanya memanfaatkan harga penutupan, sebuah keputusan yang didasarkan pada bukti empiris multikolinearitas tinggi antar fitur harga. Kinerja model dievaluasi secara ketat menggunakan Walk-Forward Validation (WFV) untuk mensimulasikan kondisi perdagangan nyata dan menghindari bias evaluasi. Hasilnya menunjukkan performa yang sangat baik dan stabil, dengan model mampu menjelaskan 94.46% varians data ($R^2 = 0.9446$) dan mencapai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 2.75%. Konsistensi ini terbukti melalui 30 iterasi WFV, yang mengonfirmasi ketahanan model di berbagai kondisi pasar. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pendekatan model LSTM univariat yang dievaluasi dengan WFV terbukti efektif dan andal, bahkan dapat menjadi pilihan superior dibandingkan model yang lebih kompleks. Temuan ini menegaskan bahwa relevansi fitur dan standar evaluasi yang ketat lebih krusial daripada kompleksitas arsitektur, memberikan kontribusi metodologis penting bagi pengembangan model prediksi finansial yang andal di masa depan.

Kata kunci: LSTM Univariat, Multikolinearitas, Performa Model, Prediksi Harga Saham, Walk-Forward Validation.

A. Pendahuluan

Pasar modal memainkan peranan penting dalam perekonomian modern sebagai barometer kesehatan ekonomi dan saluran utama mobilisasi dana serta investasi jangka panjang (Jarrah & Derbali, 2023). Saham menjadi instrumen investasi paling populer karena menawarkan potensi imbal hasil yang tinggi, meskipun disertai tingkat risiko yang signifikan (Chandola et al., 2023). Dinamika harga saham yang kompleks, dipengaruhi oleh kinerja perusahaan, kondisi makroekonomi, dan sentimen pasar, menjadikan prediksinya sebagai tantangan utama dalam keuangan kuantitatif karena sifatnya yang tidak linear dan tidak stasioner (Ali et al., 2023). Selama beberapa dekade, analisis saham didominasi oleh pendekatan fundamental dan teknikal yang bersifat kualitatif atau mengandalkan indikator statistik dasar. Namun, dengan munculnya era big data dan kemajuan teknologi komputasi, paradigma analisis beralih ke model kuantitatif berbasis pembelajaran mesin dan kecerdasan buatan yang mampu menangkap pola non-linear dan dependensi jangka

panjang yang tidak terdeteksi oleh metode tradisional. Hal ini didukung oleh temuan (Aldhyani & Alzahrani, 2022) yang menunjukkan bahwa kemampuan komputasi modern memungkinkan pengembangan model prediksi yang jauh lebih canggih dibandingkan pendekatan konvensional.

Model statistik klasik seperti *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) sering gagal dalam konteks finansial karena mengasumsikan linearitas dan stasioneritas yang tidak realistik (Low & Sakk, 2023). Di tengah keterbatasan ini, jaringan saraf tiruan jenis *Recurrent Neural Network* (RNN) muncul sebagai solusi karena kemampuannya memproses data sekuensial dengan mempertahankan memori informasi sebelumnya. Namun, RNN standar rentan terhadap masalah *vanishing gradient* yang menghambat pembelajaran pola jangka panjang. Solusi yang efektif diberikan oleh varian RNN bernama *Long Short-Term Memory* (LSTM), yang dilengkapi mekanisme *gate* untuk mengatur aliran informasi secara selektif, sehingga mampu menangkap ketergantungan jangka panjang dengan lebih baik. Penelitian oleh (Freeborough & van Zyl, 2022) menegaskan bahwa mekanisme ini membuat LSTM secara khusus cocok untuk data deret waktu finansial. Berbagai studi telah membuktikan bahwa LSTM unggul dalam memprediksi fluktuasi harga saham perusahaan teknologi seperti Tesla dan Apple, serta aset digital seperti cryptocurrency, secara konsisten mengungguli pendekatan statistik tradisional (Aldhyani & Alzahrani, 2022). Hal ini didukung oleh bukti empiris dari (Ammer & Aldhyani, 2022) yang menunjukkan kinerja superior LSTM dalam konteks pasar yang sangat volatil, bahkan saat membandingkannya dengan model lain.

Tren terkini dalam penelitian prediksi saham cenderung mengembangkan model multivariat dengan memasukkan banyak variabel input, seperti harga pembukaan, harga tertinggi, harga terendah, volume perdagangan, atau sentimen berita (Jarrah & Derbali, 2023). Pendekatan ini sering diasumsikan akan meningkatkan akurasi prediksi. Namun, variabel-variabel tersebut sering menunjukkan korelasi sangat tinggi atau multikolinearitas, yang menyebabkan redundansi informasi dan meningkatkan risiko *overfitting* (Pang, 2024). Model yang mengalami *overfitting* cenderung belajar dari *noise* dalam data pelatihan dan gagal menggeneralisasi pada data baru, sehingga kinerjanya di dunia nyata menjadi tidak dapat diandalkan. Sebaliknya, pendekatan univariat yang hanya menggunakan harga penutupan sebagai satu-satunya input justru menawarkan alternatif yang lebih sederhana, mudah diinterpretasi, dan secara empiris tetap mampu menghasilkan prediksi yang kompetitif. (Bielskis & Belovas, 2022) menemukan bahwa dalam banyak kasus, model univariat LSTM mampu bersaing dengan model multivariat yang lebih kompleks, menunjukkan bahwa relevansi fitur lebih penting daripada jumlahnya.

Masalah yang lebih mendasar dan sering diabaikan terletak pada metode evaluasi model. Sebagian besar publikasi ilmiah masih menggunakan pembagian data statis antara data pelatihan dan pengujian. Metode ini tidak sesuai dengan sifat deret waktu karena mengizinkan akses ke informasi masa depan selama proses pelatihan, sehingga menghasilkan estimasi performa yang bias dan terlalu optimis (Zhang et al.,

2024). Dalam konteks perdagangan nyata, model harus dilatih berdasarkan data historis dan diuji pada data yang baru muncul, tanpa akses ke informasi masa depan. Untuk mengatasi hal ini, Walk-Forward Validation menjadi metode evaluasi yang diakui sebagai standar emas dalam trading kuantitatif. Dalam pendekatan ini, model dilatih pada jendela data awal, lalu digunakan untuk memprediksi periode berikutnya. Setelah itu, jendela pelatihan dan pengujian digeser maju secara bertahap, dan proses ini diulang sepanjang rentang data (Cheng et al., 2022). Pendekatan ini memastikan bahwa setiap prediksi diuji hanya pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya, sehingga menghasilkan penilaian performa yang lebih realistik, konsisten, dan bebas bias. (Vásquez Sáenz et al., 2023) dan (Zhang et al., 2024) menekankan bahwa penggunaan *static split* pada deret waktu dapat menghasilkan kesimpulan yang menyesatkan, sementara Walk-Forward Validation memberikan validasi yang lebih mendekati kondisi operasional nyata.

Meskipun LSTM dan Walk-Forward Validation masing-masing telah diakui sebagai praktik terbaik, penerapan keduanya secara sinergis dalam kerangka univariat masih jarang dieksplorasi. Banyak penelitian fokus pada pengembangan arsitektur model yang kompleks, sementara aspek evaluasi yang realistik diabaikan (Lawi et al., 2022). Akibatnya, kesimpulan yang dihasilkan sering kali tidak dapat direplikasi atau diterapkan di dunia nyata. (Kim et al., 2023) dan (Peng & Guo, 2022) menyoroti bahwa peningkatan kompleksitas model tidak selalu diimbangi oleh peningkatan generalisasi, terutama ketika evaluasi dilakukan dengan cara yang tidak realistik. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan mengembangkan model LSTM univariat untuk memprediksi harga saham Nokia Corporation dan mengevaluasi kinerjanya secara ketat menggunakan Walk-Forward Validation. Nokia dipilih sebagai studi kasus karena volatilitas harganya yang khas dari sektor teknologi dan ketersediaan data historis yang panjang. Penelitian ini bertujuan memberikan bukti empiris bahwa model sederhana yang didukung oleh metode evaluasi yang realistik dapat menghasilkan prediksi yang andal, sekaligus menegaskan pentingnya standar evaluasi yang lebih ketat dalam penelitian prediksi deret waktu finansial.

B. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif terapan dengan desain *ex post facto*, di mana analisis dilakukan terhadap data historis tanpa manipulasi variabel. Metodologi ini diklasifikasikan sebagai penelitian komputasional, dengan seluruh alur kerja diimplementasikan secara algoritmik menggunakan perangkat lunak. Metodologi ini sejalan dengan tren penelitian keuangan modern yang beralih ke model kuantitatif berbasis komputasi untuk mengatasi keterbatasan pendekatan konvensional (Aldhyani & Alzahrani, 2022). Desain ini dipilih untuk memberikan solusi praktis dalam prediksi harga saham melalui penerapan ilmu data dan pembelajaran mendalam, sambil menjamin reproduktibilitas dan transparansi prosedur.

Objek penelitian adalah data historis harian saham Nokia Corporation (NOK), diperoleh dari Yahoo Finance melalui pustaka *yfinance* dalam Python untuk periode 1

Oktober 2015 hingga 24 Oktober 2023, menghasilkan 2.532 observasi. Dataset mencakup kolom tanggal, Open, High, Low, Close, dan Volume. Pemeriksaan awal menunjukkan data sangat bersih tanpa nilai hilang atau *outliers* signifikan. Namun, analisis korelasi mengungkapkan korelasi tinggi melebihi 0.9 antara fitur harga seperti Open, High, Low, dan Close, mengindikasikan adanya multikolinearitas. Temuan ini menjadi dasar kuat untuk mengadopsi pendekatan univariat, sejalan dengan peringatan (Pang, 2024) mengenai risiko *overfitting* pada model multivariat dan temuan (Bielskis & Belovas, 2022) bahwa model univariat dapat bersaing dengan model yang lebih kompleks.

Sebagai respons terhadap masalah multikolinearitas, hanya harga penutupan (Close Price) yang digunakan sebagai input model. Pemilihan harga penutupan didasarkan pada argumen bahwa harga ini merepresentasikan konsensus pasar paling akurat pada akhir sesi perdagangan, sekaligus menyederhanakan arsitektur tanpa mengorbankan informasi temporal penting (Bielskis & Belovas, 2022). Data tersebut kemudian dinormalisasi ke rentang [0, 1] menggunakan MinMaxScaler dari Scikit-learn, sebuah praktik standar dalam pembelajaran mendalam untuk meningkatkan stabilitas konvergensi (Aldhyani & Alzahrani, 2022). Selanjutnya, deret waktu diubah ke format *supervised learning* menggunakan metode *sliding window* dengan *time step* 60 hari. Artinya, setiap input terdiri dari 60 hari harga sebelumnya untuk memprediksi harga pada hari ke-61, sebuah jendela yang cukup untuk menangkap pola pergerakan harga yang signifikan (Lawi et al., 2022).

Model *Long Short-Term Memory* (LSTM) dibangun menggunakan TensorFlow dengan API Keras, terdiri dari tiga lapisan LSTM masing-masing berisi 50 unit, diikuti lapisan Dropout 0.2. Model LSTM dipilih karena kemampuannya yang telah terbukti dalam menangkap dependensi jangka panjang pada data deret waktu finansial (Freeborough & van Zyl, 2022). Lapisan Dropout ditambahkan sebagai teknik regularisasi yang krusial untuk mengurangi risiko *overfitting* (Pang, 2024). Model dikompilasi dengan optimizer Adam menggunakan laju pembelajaran 0.001 dan fungsi kerugian Mean Squared Error (MSE). Pemilihan optimizer Adam didasarkan pada popularitas dan efektivitasnya dalam studi serupa (Ulum & Girsang, 2022). Proses pelatihan diatur maksimal 100 *epoch* dengan ukuran *batch* 32, namun dilengkapi mekanisme *Early Stopping* yang menghentikan pelatihan jika tidak ada peningkatan pada data validasi selama 10 *epoch* berturut-turut. Ini untuk memastikan model tidak menghafal data pelatihan dan memiliki kemampuan generalisasi yang optimal (Kim et al., 2023).

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penerapan *Walk-Forward Validation* (WFV) sebagai metode evaluasi, menggantikan pembagian data statis yang rentan terhadap *data leakage* dan bias positif (Zhang et al., 2024). WFV merupakan prosedur yang diakui sebagai standar emas dalam evaluasi model deret waktu karena secara langsung mensimulasikan kondisi perdagangan nyata (Cheng et al., 2022). Dalam penelitian ini, model dilatih ulang setiap kali menggunakan 1000 data pertama dari jendela pelatihan untuk memprediksi 50 data berikutnya. Jendela kemudian digeser maju sejauh 50 data, dan siklus diulang hingga mencapai akhir dataset, menghasilkan 30 iterasi dan 1500 titik prediksi. Pendekatan ini menghasilkan estimasi kinerja yang lebih realistik dan bebas bias.



Gambar 1. Diagram Tahapan Penelitian

Secara visual, tahapan penelitian keseluruhan dirangkum dalam diagram alir yang merujuk pada Gambar 1. Diagram ini menggambarkan hubungan logis antar tahapan, mulai dari akuisisi data, pra-pemrosesan, pembentukan struktur *sliding window*, pelatihan model LSTM, hingga evaluasi iteratif menggunakan WVF. Kerangka kerja ini dirancang agar transparan, sistematis, dan dapat direplikasi, sehingga meningkatkan kredibilitas hasil. Untuk evaluasi kinerja, digunakan kombinasi metrik standar MSE, RMSE, MAE, MAPE, dan R-squared untuk memberikan penilaian yang multidimensi dan komprehensif, sebuah praktik yang diadopsi dalam penelitian prediksi finansial terkemuka (Ammer & Aldhyani, 2022). Seluruh proses dieksekusi di Google Colaboratory dengan dukungan GPU, menggunakan ekosistem Python seperti *pandas*, *numpy*, TensorFlow/Keras, dan *matplotlib*, serta semua artefak disimpan secara sistematis untuk menjamin *reproducibility*.

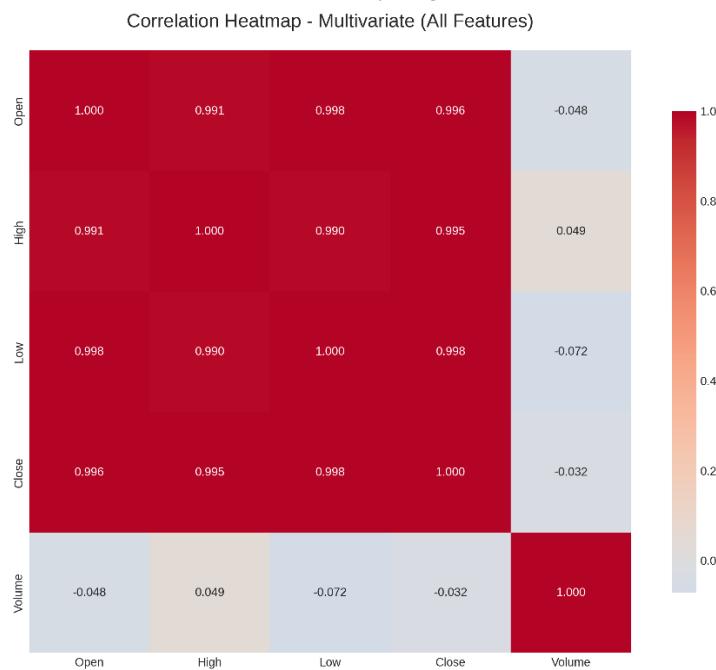
C. Hasil dan Pembahasan

Bab ini memaparkan hasil dari penelitian yang mengembangkan model prediksi harga saham Nokia menggunakan arsitektur Long Short-Term Memory (LSTM) univariat, dengan fokus pada variabel harga penutupan (Close Price) dan evaluasi kinerja model menggunakan Walk-Forward Validation (WVF) untuk mensimulasikan kondisi perdagangan yang realistik. Data historis yang digunakan adalah harga saham harian Nokia Corporation (NOK) dari 1 Oktober 2015 hingga 24 Oktober 2023, yang terdiri dari 2.532 observasi. Analisis awal menunjukkan dataset ini bebas dari nilai yang hilang (*missing values*) dan pencilan (*outlier*) yang signifikan, sehingga memastikan kualitas data yang optimal untuk pelatihan model.



Gambar 2. Visualisasi Pergerakan Saham Nokia 2015-2025

Visualisasi data historis pada Gambar 2 mengungkapkan beberapa fase pergerakan harga periode stabil, penurunan drastis, dan pemulihan dengan volatilitas tinggi yang mencerminkan karakteristik pasar saham yang kompleks dan tidak stasioner.



Gambar 3. Visualisasi Analisis korelasi Multivariate

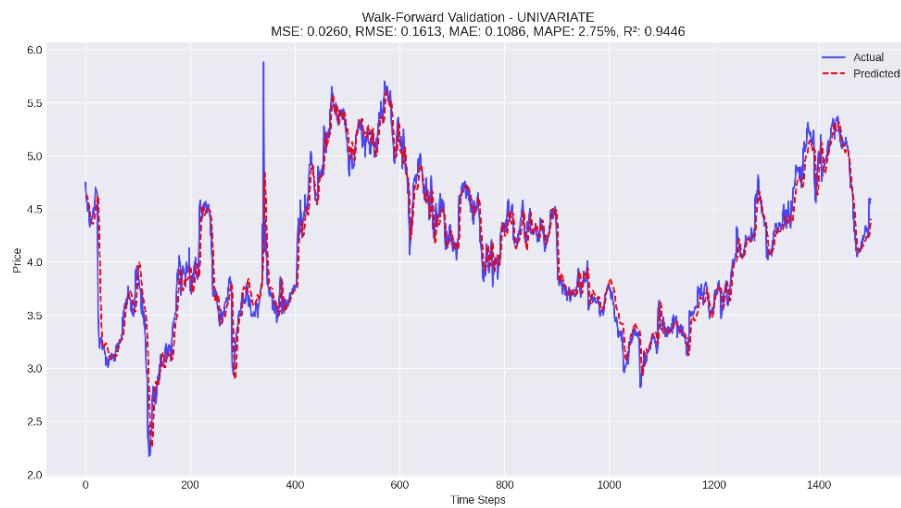
Salah satu langkah krusial dalam pra-pemrosesan adalah menganalisis korelasi antar fitur untuk mendeteksi potensi multikolinearitas. Analisis korelasi pada Gambar 3 mengonfirmasi adanya multikolinearitas yang parah antara fitur-fitur harga (Open, High, Low, Close), dengan koefisien korelasi mendekati sempurna (di atas 0,99). Kondisi ini dapat menyebabkan redundansi informasi, meningkatkan risiko *overfitting*, dan menurunkan kemampuan generalisasi model. Sebaliknya, Volume menunjukkan korelasi yang rendah dengan fitur harga, menegaskan bahwa volume merupakan sinyal yang berbeda dan tidak memiliki hubungan linear yang kuat dengan pergerakan harga harian. Berdasarkan bukti empiris ini, penelitian secara tegas mengadopsi pendekatan univariat, hanya menggunakan harga penutupan sebagai variabel input. Keputusan ini didasarkan pada prinsip parsimoni, di mana model yang lebih sederhana dipilih jika tidak mengorbankan performa, secara inheren menghindari masalah multikolinearitas dan memfokuskan model pada sinyal temporal yang paling representatif.

Setelah menetapkan fondasi data dan pendekatan pemodelan, penelitian melanjutkan untuk mengevaluasi kinerja model secara komprehensif menggunakan Walk-Forward Validation (WFV). Prosedur ini dipilih karena secara langsung mengatasi kelemahan *static train/test split* yang rentan terhadap *data leakage* dan menghasilkan estimasi performa yang bias dan terlalu optimis, serta secara akurat mensimulasikan kondisi perdagangan nyata. Hasil evaluasi selama 30 iterasi WFV menunjukkan performa model yang konsisten dan andal, dengan metrik evaluasi rata-rata yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Metrik Evaluasi Rata-Rata dari Walk-Forward Validation

Metrik	Nilai Rata-Rata
Mean Squared Error (MSE)	0.0260
Root Mean Squared Error (RMSE)	0.1613
Mean Absolute Error (MAE)	0.1086
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	2.75%
R-squared (R ²)	0.9446

Nilai MAPE sebesar 2.75% menunjukkan bahwa rata-rata kesalahan prediksi model relatif kecil dibandingkan dengan nilai aktual, yang mengindikasikan tingkat akurasi prediksi yang tinggi. Nilai R² sebesar 0.9446 berarti model mampu menjelaskan sekitar 94.46% varians dalam data harga penutupan, yang merupakan indikasi performa yang sangat baik. Konsistensi metrik ini selama 30 iterasi WVF, tanpa variasi yang ekstrem, menunjukkan stabilitas dan *robustness* model terhadap perubahan kondisi pasar dari waktu ke waktu.



Gambar 4. Visualisasi Perbandingan Nilai Aktual vs Prediksi

Secara visual, perbandingan antara nilai prediksi dan nilai aktual dari hasil WVF pada Gambar 4 secara kualitatif mengonfirmasi hasil kuantitatif. Model LSTM univariat mampu menangkap pola pergerakan harga dengan sangat baik, termasuk tren naik, tren turun, dan fluktuasi harian. Garis prediksi secara umum mengikuti garis aktual dengan sangat dekat, yang menunjukkan keandalan model dalam mengidentifikasi sinyal pasar. Namun, model menunjukkan sedikit deviasi atau *lag* pada titik-titik ekstrem atau saat terjadi pembalikan arah harga yang tajam. Fenomena ini wajar dan telah dilaporkan dalam berbagai studi prediksi finansial, disebabkan oleh sifat pasar yang sangat dipengaruhi oleh berita tak terduga dan perubahan sentimen mendadak, yang secara inheren sulit ditangkap hanya dari data harga historis. Meskipun demikian, deviasi yang terjadi relatif kecil dan tidak mengurangi keseluruhan keandalan model.

Hasil ini memberikan bukti empiris yang kuat untuk mendukung argumen utama penelitian. Pertama, pendekatan univariat, yang dipilih karena masalah multikolinearitas, terbukti mampu menghasilkan prediksi yang sangat akurat. Kedua,

dan yang lebih penting, penggunaan Walk-Forward Validation memberikan estimasi kinerja yang kredibel dan bebas bias. Jika model ini dievaluasi menggunakan *static split*, kemungkinan besar akan menghasilkan metrik yang lebih baik lagi namun tidak mencerminkan kinerja di dunia nyata. Dengan demikian, penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa model yang relatif sederhana (univariat LSTM), ketika dievaluasi dengan metode yang ketat dan realistik (WFV), dapat menjadi alat prediksi yang andal untuk harga saham. Temuan ini menegaskan pentingnya standar evaluasi yang lebih ketat dalam penelitian prediksi deret waktu finansial, yang sering kali diabaikan demi fokus pada kompleksitas arsitektur model.

D. Kesimpulan

Penelitian ini secara meyakinkan mendemonstrasikan bahwa pendekatan model *Long Short-Term Memory* (LSTM) univariat yang dievaluasi dengan Walk-Forward Validation (WFV) terbukti secara efektif andal dalam memprediksi harga saham Nokia. Keberhasilan ini tidak hanya tercermin dari metrik kinerja tunggal, melainkan dari konsistensi hasil yang dicapai melalui metodologi yang ketat dan realistik, yang secara langsung menjawab tujuan penelitian untuk mengisi celah dalam praktik evaluasi model prediksi finansial.

Temuan empiris menunjukkan bahwa model LSTM univariat yang dikembangkan mampu menjelaskan sekitar 94,46% varians data harga penutupan ($R^2 = 0.9446$) dengan tingkat kesalahan prediksi rata-rata yang sangat rendah (MAPE = 2.75%). Lebih penting lagi, keunggulan ini bukanlah hasil dari evaluasi yang bias. Melalui penerapan *Walk-Forward Validation* selama 30 iterasi, model menunjukkan stabilitas yang luar biasa di berbagai kondisi pasar, yang membuktikan ketahanannya dan kemampuan generalisasi yang sejati sesuatu yang tidak dapat dijamin oleh metode pembagian data statis.

Keberhasilan model ini tidak terlepas dari keputusan strategis mengadopsi pendekatan univariat. Berdasarkan analisis korelasi yang mengungkap multikolinearitas parah antar fitur harga, pemilihan hanya harga penutupan sebagai input terbukti menjadi langkah krusial. Keputusan ini tidak hanya menyederhanakan arsitektur dan mencegah *overfitting*, tetapi juga secara fundamental menunjukkan bahwa relevansi fitur jauh lebih menentukan daripada jumlah fitur.

Secara fundamental, penelitian ini menegaskan bahwa dalam prediksi deret waktu finansial, ketahanan model dan standar evaluasi yang realistik (melalui WFV) jauh lebih menentukan keberhasilan daripada kompleksitas arsitektur model semata. Model yang sederhana namun dievaluasi dengan rigor mampu memberikan hasil yang lebih kredibel dan berlaku di dunia nyata. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menyajikan model prediksi yang andal untuk saham Nokia, tetapi juga menawarkan kerangka kerja metodologis yang kredibel menggabungkan prinsip parsimoni dengan evaluasi yang ketat sebagai acuan bagi penelitian prediksi pasar modal di masa depan.

Daftar Pustaka

- Aldhyani, T. H. H., & Alzahrani, A. (2022). Framework for Predicting and Modeling Stock Market Prices Based on Deep Learning Algorithms. *Electronics (Switzerland)*, 11(19). <https://doi.org/10.3390/electronics11193149>
- Ali, M., Khan, D. M., Alshanbari, H. M., & El-Bagoury, A. A. A. H. (2023). Prediction of Complex Stock Market Data Using an Improved Hybrid EMD-LSTM Model. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/app13031429>
- Ammer, M. A., & Aldhyani, T. H. H. (2022). Deep Learning Algorithm to Predict Cryptocurrency Fluctuation Prices: Increasing Investment Awareness. *Electronics (Switzerland)*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/electronics11152349>
- Bielskis, A., & Belovas, I. (2022). Comparative analysis of stock price ARIMA and LSTM forecasting methods. *Lietuvos Matematikos Rinkinys*, 63. <https://doi.org/10.15388/lmr.2022.29755>
- Chandola, D., Mehta, A., Singh, S., Tikkial, V. A., & Agrawal, H. (2023). Forecasting Directional Movement of Stock Prices using Deep Learning. *Annals of Data Science*, 10(5). <https://doi.org/10.1007/s40745-022-00432-6>
- Cheng, C.-H., Tsai, M.-C., & Chang, C. (2022). A Time Series Model Based on Deep Learning and Integrated Indicator Selection Method for Forecasting Stock Prices and Evaluating Trading Profits. *Systems*, 10(6), 243. <https://doi.org/10.3390/systems10060243>
- Freeborough, W., & van Zyl, T. (2022). Investigating Explainability Methods in Recurrent Neural Network Architectures for Financial Time Series Data. *Applied Sciences*, 12(3), 1427. <https://doi.org/10.3390/app12031427>
- Jarrah, M., & Derbali, M. (2023). Predicting Saudi Stock Market Index by Using Multivariate Time Series Based on Deep Learning. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/app13148356>
- Kim, J., Kim, H.-S., & Choi, S.-Y. (2023). Forecasting the S&P 500 Index Using Mathematical-Based Sentiment Analysis and Deep Learning Models: A FinBERT Transformer Model and LSTM. *Axioms*, 12(9), 835. <https://doi.org/10.3390/axioms12090835>
- Lawi, A., Mesra, H., & Amir, S. (2022). Implementation of Long Short-Term Memory and Gated Recurrent Units on grouped time-series data to predict stock prices accurately. *Journal of Big Data*, 9(1), 89. <https://doi.org/10.1186/s40537-022-00597-0>
- Low, P. R., & Sakk, E. (2023). Comparison between autoregressive integrated moving average and long short term memory models for stock price prediction. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 12(4), 1828–1835. <https://doi.org/10.11591/ijai.v12.i4.pp1828-1835>
- Pang, T. (2024). APPL stock price prediction based on LSTM and GRU. *Applied and Computational Engineering*, 47(1), 200–206. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/47/20241343>
- Peng, Z.-Y., & Guo, P.-C. (2022). A Data Organization Method for LSTM and Transformer When Predicting Chinese Banking Stock Prices. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2022(1). <https://doi.org/10.1155/2022/7119678>
- Ulum, D. S. N., & Girsang, A. S. (2022). Hyperparameter Optimization of Long-Short Term Memory

- using Symbiotic Organism Search for Stock Prediction. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 5(2), 121–133. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v5i2.415>
- Vásquez Sáenz, J., Quiroga, F. M., & Bariviera, A. F. (2023). Data vs. information: Using clustering techniques to enhance stock returns forecasting. *International Review of Financial Analysis*, 88, 102657. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2023.102657>
- Zhang, C., Sjarif, N. N. A., & Ibrahim, R. (2024). 1D-CapsNet-LSTM: A deep learning-based model for multi-step stock index forecasting. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 36(2), 101959. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2024.101959>