

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Skripsi ini bertujuan membangun dan mengevaluasi model prediksi harga emas ANTAM LM harian di Indonesia dengan menggunakan algoritma *Long Short-Term Memory* (LSTM) dan *Gated Recurrent Unit* (GRU) berbasis variabel makroekonomi, serta mengimplementasikan sistem prediksi tersebut ke dalam aplikasi berbasis web yang dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu pengambilan keputusan investasi. Berdasarkan seluruh tahapan pemodelan, evaluasi, dan implementasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pendekatan *multivariate deep learning* dengan integrasi variabel makroekonomi dan *feature engineering* mampu menghasilkan model prediksi harga emas dengan tingkat *error* relatif rendah pada skenario pengujian yang digunakan.

Hasil analisis hubungan antar variabel menunjukkan bahwa *usd_idr* memiliki korelasi positif kuat terhadap *gold_price* sebesar 0,872, sehingga nilai tukar menjadi variabel eksogen dengan hubungan linear paling dominan terhadap harga emas pada periode pengamatan. Sementara itu, *inflation* memiliki korelasi negatif sedang terhadap *gold_price* sebesar -0,493, sedangkan *interest_rate* memiliki korelasi negatif sangat lemah sebesar -0,069. Temuan ini menunjukkan bahwa inflasi dan suku bunga tidak memiliki hubungan positif langsung terhadap harga emas dalam *dataset* yang digunakan. Oleh karena itu, kedua variabel tersebut tidak disimpulkan sebagai faktor yang secara linear meningkatkan harga emas, tetapi tetap digunakan sebagai variabel eksogen dalam model multivariat untuk merepresentasikan konteks makroekonomi.

- a. Penerapan algoritma *LSTM* dalam memprediksi harga emas ANTAM LM menghasilkan kemampuan yang memadai dalam menangkap pola pergerakan umum harga emas harian. Evaluasi pada tiga skema *split* (70:30, 80:20, dan 90:10) menunjukkan bahwa *LSTM* mencapai performa terbaik pada skema 90:10 dengan nilai *RMSE* sebesar Rp 96.808,45 dan *MAPE* sebesar 4,58%. Sedangkan *GRU* mendapat performa terbaik pada skema 90:10 dengan nilai

- RMSE* sebesar Rp. 35,417.9 dan *MAPE* sebesar 1,4%. Meskipun model sudah mampu mengikuti arah tren secara umum, hasil *scatter plot* pada Gambar 4.41 dan Gambar 4.42 memperlihatkan adanya deviasi yang relatif lebih besar pada rentang harga tinggi, serta kecenderungan *underpredict* yang menjadi keterbatasan utama arsitektur ini dalam menangani lonjakan harga yang tajam.
- b. Penerapan algoritma *GRU* menghasilkan performa yang secara konsisten lebih unggul dibandingkan *LSTM* di seluruh skema *split* data. Menggunakan konfigurasi *hyperparameter* terbaik berupa 256 *units*, tanpa *dropout*, dan *learning rate* sebesar 0,001, model *GRU* dengan skema *split* 90:10 mencapai nilai *RMSE* sebesar Rp 35.417,91 dan *MAPE* sebesar 1,47%, yang merupakan nilai terbaik secara keseluruhan di antara seluruh kombinasi model dan skema yang diuji. Pada skema 70:30, *GRU* sudah mampu menurunkan *RMSE* menjadi Rp 70.450,40 dengan *MAPE* 2,77%, jauh di bawah *LSTM* pada kondisi yang sama. Analisis *scatter plot* pada Gambar 4.42 dan *line chart actual vs. prediction* 4.43 mengonfirmasi bahwa prediksi *GRU* lebih rapat terhadap garis ideal, dengan distribusi *error* yang lebih seragam di berbagai rentang nilai dan respons yang lebih adaptif terhadap perubahan tren jangka pendek. Pada *dataset* dan skenario pengujian ini, arsitektur *GRU* yang lebih sederhana menghasilkan konvergensi lebih cepat dan generalisasi yang lebih baik pada karakteristik data harga emas Indonesia yang dipengaruhi dinamika makroekonomi domestik.
 - c. Integrasi model *GRU* terbaik ke dalam sistem berbasis web yang dibangun dengan arsitektur *backend Flask* dan *frontend React* menghasilkan aplikasi prediksi harga emas yang fungsional dan dapat digunakan secara operasional. Model *GRU* dengan konfigurasi *split* 90:10 dipilih sebagai model *deployment final* dan dikemas dalam tiga artefak, yaitu *file model (GRU_90-10.keras)*, *scaler (scalers_90-10.joblib)*, dan *metadata (meta_90-10.joblib)*, menjaga konsistensi *pipeline* antara *training* dan *inference*. Aplikasi menyediakan tiga halaman utama, yaitu halaman *Dashboard* untuk *monitoring* tren dan estimasi harga esok hari, halaman Data Historis untuk analisis statistik deskriptif jangka panjang, serta halaman Prediksi yang memungkinkan pengguna mengunggah *dataset* CSV, memilih horizon prediksi secara fleksibel, dan melihat hasil

forecast beserta metrik evaluasi model melalui antarmuka web yang diperbarui secara berkala. Dengan kemampuan tersebut, sistem ini dapat dimanfaatkan sebagai alat dalam mendukung pengambilan keputusan investasi emas di Indonesia, khususnya bagi investor ritel yang membutuhkan estimasi pergerakan harga berbasis kondisi makroekonomi domestik terkini.

Hasil skripsi ini menegaskan bahwa kombinasi arsitektur *GRU*, *feature engineering* makroekonomi, dan implementasi sistem berbasis web yang modular mampu menghasilkan performa evaluasi terbaik pada skenario pengujian yang digunakan dan dapat diimplementasikan dalam aplikasi web. Model dengan *MAPE* 1,47% menunjukkan tingkat *error* relatif yang rendah, sehingga hasil prediksi memiliki potensi sebagai alat bantu dalam perumusan strategi investasi emas jangka pendek di Indonesia.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan skripsi yang menunjukkan bahwa model *GRU* dengan pendekatan *multivariate forecasting* berbasis variabel makroekonomi mampu menghasilkan prediksi harga emas dengan tingkat akurasi yang baik dan telah diimplementasikan ke dalam sistem berbasis web, maka beberapa saran yang dapat diajukan untuk pengembangan lebih lanjut adalah sebagai berikut:

- a. Skripsi selanjutnya dapat mempertimbangkan penggunaan pendekatan *forecasting* alternatif sebagai pembandingan, seperti *Transformer-based model* (misalnya *Temporal Fusion Transformer* atau *Informer*), *Bidirectional LSTM*, *Stacked LSTM*, maupun model hibrida yang menggabungkan lapisan *convolutional* dengan *GRU* atau *LSTM*. Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah arsitektur dengan kapasitas representasi yang lebih tinggi mampu menurunkan nilai *MAPE* secara signifikan pada karakteristik data *time series* harga emas Indonesia, terutama pada kondisi lonjakan harga yang tajam di mana model berbasis *RNN* standar masih menunjukkan keterbatasan adaptasi. Selain itu, eksplorasi pendekatan *Direct Multi-Step (MIMO)* sebagai alternatif terhadap prediksi *autoregresif iteratif* juga relevan untuk mengurangi akumulasi *error* pada horizon prediksi yang lebih panjang.
- b. Penambahan cakupan variabel makroekonomi dan sumber data eksternal perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan kekayaan konteks *input* model. Variabel

seperti harga minyak mentah (*crude oil*), harga jenis metal lain seperti *Silver*, *Copper*, *Platinum*, *Palladium*, *Aluminium*, indeks dolar AS (*DEXY*), harga emas internasional (*spot LBMA* atau *COMEX*), *yield* obligasi pemerintah, *Technical Indicators* seperti *MACD*, *VWAP*, *Bollinger Bands* (*upper band*, *lower band*, dan *bandwidth*) serta *Volume MA*, dan lain-lain, berpotensi memperkuat kemampuan model dalam menangkap dinamika harga emas yang tidak semata-mata ditentukan oleh faktor domestik. Integrasi data *real-time* melalui *API* eksternal ke dalam *pipeline* sistem juga dapat menjadikan aplikasi lebih adaptif terhadap kondisi pasar terkini, sehingga relevansinya sebagai alat bantu pengambilan keputusan investasi semakin meningkat.

- c. Berdasarkan hasil evaluasi tambahan, skripsi selanjutnya juga dapat mempertimbangkan proses seleksi variabel secara lebih ketat sebelum menentukan *input* model. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model *GRU* tetap menghasilkan performa terbaik ketika variabel inflasi dan suku bunga tidak digunakan, dengan nilai *RMSE* dan *MAPE* yang sedikit lebih baik dibandingkan konfigurasi yang memasukkan seluruh variabel makroekonomi. Temuan ini menunjukkan bahwa penambahan variabel ekonomi tidak selalu meningkatkan akurasi model, terutama ketika frekuensi data variabel tersebut tidak sejalan dengan target prediksi harian. Inflasi dan suku bunga cenderung memiliki perubahan bulanan atau periodik, sehingga nilainya berulang pada banyak observasi harian dan dapat mengurangi sensitivitas model terhadap pergerakan harga jangka pendek. Oleh karena itu, apabila skripsi selanjutnya tetap ingin memprediksi harga emas harian Indonesia berdasarkan variabel makroekonomi, penggunaan nilai tukar *USD/IDR* dapat diprioritaskan dibandingkan inflasi dan suku bunga.