

## ABSTRACT

Extreme weather events, which are increasingly frequent due to global climate change, have significant impacts on human life. The uncertainty of weather patterns and the limitations of single forecasting models in capturing long-term dependencies and extreme fluctuations present challenges in producing accurate predictions. Gated Recurrent Unit (GRU) is known for its training efficiency and high accuracy, particularly on small datasets, but it performs suboptimally in modeling long-term dependencies and capturing complex temporal patterns. In contrast, Long Short-Term Memory (LSTM) excels in modeling such long-range and temporal dependencies, although its accuracy is not always superior to GRU. To address these limitations, this study proposes a hybrid modeling approach that integrates GRU and LSTM for weather forecasting based on time series data. The model is designed to predict four meteorological variables in a multi-output setting: minimum temperature ( $T_n$ ), maximum temperature ( $T_x$ ), precipitation (RR), and maximum wind speed ( $ff_x$ ), using historical data obtained from the West Java Climatology Station, sourced from the official BMKG (Indonesian Meteorological, Climatological, and Geophysical Agency) website. The model's performance was evaluated by comparing it with baseline GRU and LSTM models. The results show that the GRU-LSTM hybrid model consistently outperforms the baseline models. For minimum temperature ( $T_n$ ), the RMSE decreased by 4.35% from GRU (0.92 to 0.88) and 2.22% from LSTM (0.90 to 0.88). For maximum temperature ( $T_x$ ), RMSE decreased by 3.25% from both GRU and LSTM (1.23 to 1.19). In the case of precipitation (RR), the RMSE decreased by 0.83% from GRU and 0.67% from LSTM. For maximum wind speed ( $ff_x$ ), the reductions were 1.65% and 1.11% from GRU and LSTM, respectively. The consistent performance improvement across all target variables highlights the potential of hybrid deep learning models for more accurate weather forecasting.

**Keywords:** *Deep Learning, Extreme Weather, GRU-LSTM, Multioutput Forecasting, Weather Forecasting.*

## ABSTRAK

Cuaca ekstrem yang semakin sering terjadi akibat perubahan iklim global menimbulkan dampak signifikan terhadap kehidupan masyarakat. Ketidakpastian pola cuaca dan keterbatasan model peramalan tunggal dalam mengenali pola jangka panjang dan fluktuasi ekstrem menjadi tantangan dalam menghasilkan prediksi yang akurat. *Gated Recurrent Unit* (GRU) dikenal efisien dalam proses pelatihan dan memiliki akurasi yang tinggi, tetapi kurang optimal dalam pemodelan jangka panjang dan pengenalan pola temporal yang kompleks. Sebaliknya, *Long Short-Term Memory* (LSTM) unggul dalam pemodelan jangka panjang, dan pola temporal yang kompleks, tetapi akurasi tidak sebaik GRU. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini mengusulkan pemodelan *hybrid* yang mengintegrasikan *Gated Recurrent Unit* (GRU) dan *Long Short-Term Memory* (LSTM) untuk peramalan cuaca berbasis data *time series*. Model dikembangkan untuk memprediksi empat variabel meteorologis secara *multioutput*, yaitu suhu minimum ( $T_n$ ), suhu maksimum ( $T_x$ ), curah hujan ( $RR$ ), dan kecepatan angin maksimum ( $ff_x$ ), menggunakan data historis dari Stasiun Klimatologi Jawa Barat yang bersumber dari situs resmi BMKG. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kinerja model *hybrid* terhadap model *baseline* GRU dan LSTM tunggal. Hasil menunjukkan bahwa model *hybrid* GRU-LSTM secara konsisten memberikan peningkatan performa dibandingkan model *baseline* (GRU dan LSTM). Pada variabel suhu minimum ( $T_n$ ), nilai RMSE menurun sebesar 4,35% dari GRU (0,92 menjadi 0,88) dan 2,22% dari LSTM (0,90 menjadi 0,88). Pada suhu maksimum ( $T_x$ ), RMSE menurun sebesar 3,25% dari GRU dan LSTM (1,23 menjadi 1,19). Untuk curah hujan ( $RR$ ), penurunan tercatat sebesar 0,83% dari GRU dan 0,67% dari LSTM. Sedangkan pada kecepatan angin maksimum ( $ff_x$ ), penurunan RMSE masing-masing sebesar 1,65% dari GRU dan 1,11% dari LSTM. Keunggulan konsistensi model *hybrid* pada seluruh variabel target menunjukkan potensi integrasi model *deep learning* untuk peramalan cuaca yang lebih akurat.

**Kata kunci:** Cuaca Ekstrem, *Deep Learning*, GRU-LSTM, *Multioutput Forecasting*, Peramalan Cuaca.