

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengembangan, dan pengujian yang telah dilakukan terhadap prediksi cuaca jangka pendek untuk rekomendasi kegiatan olahraga, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama yaitu:

- A. Penelitian ini membangun model *BiLSTM* untuk prediksi cuaca per jam melalui empat tahap kunci. Pertama, data suhu, kelembaban, dan curah hujan diproses dengan: (1) penanganan *missing values* menggunakan interpolasi linear (suhu/kelembaban) dan pengisian nol (curah hujan); (2) transformasi Yeo-Johnson ($\lambda=3.3210$ untuk kelembaban, $\lambda=-5.5548$ untuk curah hujan) dan normalisasi Min-Max ke rentang $[0,1]$; (3) pembagian *dataset* 80%-10%-10% dengan menjaga urutan temporal; serta (4) pembentukan *input sequence* 24 jam untuk merepresentasikan pola per jam. Kedua, arsitektur *BiLSTM* dirancang dengan dua lapisan *bidirectional* lapisan pertama mengembalikan seluruh *sekuens* (*return_sequences=True*) dan lapisan kedua hanya *output* akhir (*return_sequences=False*) yang diikuti *batch normalization* dan lapisan *dense* aktivasi *ReLU* sebelum tiga neuron *output* linear. Ketiga, pelatihan dioptimalkan via *random search* 20 *trial* dengan variasi *hyperparameter* (jumlah neuron: 64-256, *dropout*: 0.1-0.5, regularisasi L2: 10^{-5} - 10^{-2} , *learning rate*: 0.001-0.00001), menggunakan *loss Huber*, metrik RMSE, dan *early stopping* (*patience=5*). Hasilnya mengidentifikasi konfigurasi optimal (*Trial* 17: 64-128 neuron, *dropout* 0.1, L2 0.000205, *learning rate* 0.0001) yang mencapai *val_loss* 0.011413 dan RMSE 0.170514 dalam 91 *epoch*, membuktikan efektivitas pendekatan ini untuk prediksi cuaca per jam. Keempat, evaluasi model *BiLSTM* dilakukan pada 10% data uji menggunakan model *trial_id* 17. Hasil evaluasi menunjukkan kinerja terbaik untuk prediksi suhu dan kelembaban, sementara prediksi curah hujan masih memerlukan optimasi lebih lanjut. Setelah dekonversi ke skala asli, diperoleh nilai RMSE sebesar 0.8787°C (suhu), 4.8653% (kelembaban), dan 0.7463 mm (curah hujan). Nilai NSE berturut-turut adalah 0.892 (suhu), 0.875 (kelembaban), dan 0.368 (curah hujan). Hasil ini mengindikasikan dua hal: (1) terdapat kesesuaian sangat tinggi antara prediksi dan observasi untuk suhu

dan kelembapan ($NSE > 0.8$); (2) prediksi curah hujan menghadapi tantangan signifikan akibat sifatnya yang sporadis, meskipun nilai absolut RMSE-nya relatif rendah. Oleh karena itu, prediksi curah hujan tidak disarankan untuk digunakan karena berpotensi menyesatkan pengguna.

- B. Berdasarkan evaluasi komprehensif terhadap data uji dan perbandingan dengan data test, kinerja model BiLSTM menunjukkan variasi signifikan antar variabel cuaca. Model mencapai akurasi luar biasa pada prediksi suhu dengan RMSE 0.8787°C (rentang aktual: 21.1°C – 34.8°C) dan NSE 0.892, serta kelembapan dengan RMSE 4.8653% (rentang aktual: 27%–100%) dan NSE 0.875. Konsistensi ini terkonfirmasi melalui contoh konkret pada 2 Januari 2024 pukul 00:00:00, di mana selisih prediksi suhu hanya 0.000285°C dan kelembapan 1.89185% dari nilai aktual, serta visualisasi tren (Gambar 4.13-4.14) yang menunjukkan kecocokan pola hampir sempurna. Namun, prediksi curah hujan masih menghadapi tantangan serius dengan RMSE 0.7463 mm dan NSE 0.368 yang mengindikasikan kelemahan kritis. Hasil evaluasi tambahan pada data real tahun 2025 memperkuat temuan ini: untuk variabel suhu memiliki nilai RMSE 0.462°C dan NSE 0.9462, kelembapan RMSE 1.89% dan NSE 0.95, dan curah hujan RMSE 0.602 mm dan NSE -0.0567 yang menandakan kegagalan signifikan. Model hampir selalu memprediksi hujan ≈ 0 mm, karena ketidakmampuan menangkap pola sporadis dan intensitas ekstrem seperti yang terlihat pada data 2024 (Tabel 4.8) dan 2025 (Tabel 4.18).

5.2 Saran

Beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut dijelaskan pada *point-point* berikut ini :

1. Integrasi dengan Teknologi *IoT*

Integrasi dengan perangkat *Internet of Things (IoT)*, seperti sensor cuaca berbiaya rendah atau pencatat data waktu nyata, dapat meningkatkan ketelitian dan ketepatan waktu data masukan. Integrasi ini memungkinkan pengumpulan data secara terus-menerus dari berbagai mikroklimat, memberikan data yang lebih kaya untuk model BiLSTM dan meningkatkan

akurasi prediksi, terutama di daerah dengan infrastruktur meteorologi yang terbatas.

2. Eksplorasi *Dataset* dari Beragam Wilayah dan variabel

Perluasan cakupan data dengan memasukkan wilayah geografis yang berbeda mulai dari daerah pesisir hingga pegunungan dapat digunakan untuk menguji kemampuan generalisasi model terhadap berbagai subiklim tropis di Indonesia. Langkah ini tidak hanya menguji ketahanan model, tetapi juga membuka peluang untuk penyetelan model secara lokal dan layanan prediksi yang lebih spesifik untuk setiap daerah.

3. Pengembangan Aplikasi *Multiplatform*

Pengembangan lebih lanjut dapat mencakup transformasi aplikasi yang awalnya berbasis Android menjadi aplikasi *multiplatform*, seperti versi iOS dan *dashboard* berbasis web. Hal ini akan meningkatkan aksesibilitas bagi pengguna dari berbagai perangkat serta mendukung penyebaran informasi yang lebih luas, misalnya untuk tim penanggulangan bencana, petani, atau perencanaan kota.