

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kepulauan Riau merupakan salah satu provinsi maritim di Indonesia yang memiliki letak strategis dari Selat Malaka hingga Laut Cina Selatan. Kondisi geografis wilayah ini yang didominasi oleh lautan dan pulau-pulau kecil menciptakan lingkungan iklim yang khas. Iklim Provinsi Kepulauan Riau, sangat dipengaruhi oleh angin sehingga wilayah ini memiliki iklim laut tropis basah, di mana suhu relatif stabil sepanjang tahun, dan kelembapan udara cenderung tinggi. Suhu dan kelembapan ini disebabkan oleh pengaruh besar lautan yang mengatur distribusi panas dan kelembapan di daerah pesisir.

Angin adalah pergerakan udara dari wilayah bertekanan tinggi ke wilayah bertekanan rendah. Perbedaan tekanan antara dua daerah inilah yang menentukan arah dan intensitas aliran udara tersebut [1]. Cuaca yang dipengaruhi oleh angin memiliki dampak besar terhadap aktivitas manusia sehari-hari, khususnya di daerah pesisir seperti Batam. Kota Batam, yang terletak di wilayah strategis perairan Selat Malaka dan sangat bergantung pada transportasi laut, rentan terhadap gangguan akibat kondisi angin. Angin yang kuat dapat menyebabkan penundaan atau bahkan pembatalan pelayaran. Ketika angin bertiup kencang, fenomena badai atau gelombang tinggi dapat muncul, yang kemudian mengganggu transportasi laut serta kegiatan nelayan di pesisir.

Urgensi penelitian ini didasarkan fakta bahwa kondisi angin ekstrem di perairan Batam memiliki dampak yang nyata terhadap keselamatan maritim dan ekonomi. Berdasarkan data lapangan, insiden kecelakaan laut akibat cuaca buruk masih sering terjadi. Sebagai contoh, pada Mei 2025, terjadi insiden tabrakan dua kapal niaga (MV Sekar Permata dan MV Roba) di perairan Batu Ampar yang disebabkan oleh angin kencang sehingga kapal gagal mempertahankan posisi jangkar [2]. Selain kerugian materil pada sektor logistik, angin kencang juga mengancam keselamatan jiwa. Pada bulan yang sama, sebuah kapal nelayan yang membawa pemancing dilaporkan tenggelam di perairan Berakit akibat perubahan cuaca ekstrem yang tiba-tiba [3]. Lebih lanjut urgensi informasi tentang kecepatan

angin menjadi krusial dalam operasi penyelamatan nyawa. Pada 3 Januari 2026, seorang penumpang KMP Lome dilaporkan meninggal dunia setelah melahirkan di atas kapal rute Riau-Batam. Upaya evakuasi medis antar kapal di tengah laut terpaksa dibatalkan karena nakhoda menilai kondisi angin dan gelombang terlalu berbahaya [26]. Kasus ini membuktikan bahwa prediksi kecepatan angin bukan hanya data meteorologis semata, melainkan faktor penentu dalam pengambilan keputusan vital yang menyangkut nyawa manusia di perairan Kepulauan Riau. Oleh karena itu, pemahaman tentang pola kecepatan angin di Batam sangat penting untuk mendukung kegiatan ekonomi dan keselamatan di berbagai sektor. Prediksi kecepatan angin di Batam dapat mengoptimalkan transportasi laut, dengan mengatur jadwal pelayaran secara tepat serta memberikan peringatan dini kepada nelayan dan masyarakat pesisir agar dapat mengambil langkah pencegahan terhadap potensi gelombang tinggi.

Prediksi kecepatan angin dapat menggunakan berbagai metode. Metode statistik tradisional seperti ARIMA telah digunakan secara luas dalam peramalan deret waktu. Namun, pendekatan tersebut memiliki keterbatasan untuk menangkap pola-pola kompleks antar data, terutama karena kecepatan angin sering kali menunjukkan karakteristik non-linier, fluktuatif, dan tidak stasioner [10]. Di sisi lain, RNN seperti elman, dan LSTM dapat mempelajari pola temporal dan non-linier melalui mekanisme memori internalnya, sehingga lebih sesuai untuk memodelkan data yang dinamis dan tidak stasioner [24]. RNN merupakan model deep learning yang didesain untuk memproses data sequential dengan menjaga memori sebelumnya sehingga informasi dari input-input sebelumnya bisa mempengaruhi prediksi saat ini [25]. RNN mempunyai masalah pada *vanishing gradient* saat pembelajaran melalui *backpropagation through time*, sehingga sulit untuk menangkap ketergantungan jangka panjang dan deret waktu [23]. model yang mampu mengatasi masalah tersebut adalah Long Short-Term Memory (LSTM). LSTM merupakan jaringan saraf tiruan RNN yang yang dirancang khusus untuk mengatasi permasalahan tersebut. LSTM memanfaatkan *memory cell* untuk menyimpan informasi jangka panjang. Selain itu LSTM mampu menangkap ketergantungan temporal yang jauh dan hubungan non-linier dalam data, sehingga lebih sesuai untuk memodelkan kecepatan angin yang kompleks.

LSTM standar hanya mampu mempelajari data di masa lalu, sedangkan kecepatan angin di masa depan seringkali bersifat tidak menentu [4]. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, model ini dilatih agar dapat mengintegrasikan informasi dari data masa lalu maupun masa depan melalui penerapan bidirectional pada LSTM, di mana *forward layer* menyediakan informasi dari data masa lalu dan *backward layer* menyediakan informasi dari data masa depan [5]. Meskipun model BiLSTM telah mampu menangkap informasi dari kedua arah (masa lalu dan masa depan), tidak semua data memberikan kontribusi yang sama terhadap prediksi kecepatan angin. Oleh karena itu, penerapan *attention mechanism* dilakukan untuk menyoroti informasi yang lebih penting dengan memberikan bobot probabilitas yang berbeda [17], sehingga informasi pada waktu yang memiliki pengaruh besar terhadap perubahan kecepatan angin mendapatkan bobot yang lebih tinggi. Dengan demikian, penggunaan *attention mechanism* pada BiLSTM memungkinkan model untuk lebih fokus pada informasi tertentu, sehingga akurasi prediksi dapat ditingkatkan.

Penerapan *attention mechanism* sudah banyak diterapkan di berbagai bidang, seperti *computer vision* yang dilakukan oleh Farias dan Junior [9] dengan penambahan *convolutional layer* pada BiLSTM menunjukkan bahwa model MobileNetV2 yang menerapkan *attention mechanism* mencapai akurasi sebesar 96,50%, sedangkan model tanpa penerapan *attention mechanism* hanya mencapai akurasi sebesar 94,25%, kemudian penelitian yang dilakukan oleh Natha et al. [8] dalam penerapan *attention mechanism* pada deteksi anomali spasial dan temporal dalam pengawasan video mengungguli model lain yang diujikan. Selain itu, penerapan *attention mechanism* mengenai prediksi *time series* yang dilakukan oleh Hao et al. [7] mengenai prediksi suhu atmosfer menggunakan model BiLSTM-Attention yang dibandingkan dengan model lain seperti BiLSTM, LSTM-Attention, dan LSTM, hasil evaluasi menunjukkan bahwa model BiLSTM-Attention menghasilkan prediksi terbaik, dengan mengurangi nilai MAE sebesar 0.41% hingga 1.24% serta menurunkan nilai MSE sebesar 0.03% hingga 0.06%. Selain itu, nilai R^2 meningkat antara 1.23% hingga 4.98%.

Oleh karena itu, penulis ingin melakukan penelitian mengenai penerapan BiLSTM dengan *attention mechanism* untuk memprediksi kecepatan angin di Kota Batam.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana mengimplementasikan model Bidirectional LSTM dengan *attention mechanism* untuk memprediksi kecepatan angin di Kota Batam, serta bagaimana evaluasi kinerjanya menggunakan metrik evaluasi MAE, MAPE, dan RMSE.

C. Batasan Penelitian

Di bawah ini adalah beberapa pembatasan penelitian yang telah ditentukan untuk penelitian ini:

1. Penelitian ini menggunakan data kecepatan angin rata-rata, temperatur rata-rata, dan kelembapan rata-rata yang diperoleh dari BMKG Hang  Nadim Batam selama 31 tahun, yakni dari tahun 1994 hingga 2025.
2. Penelitian ini menguji berbagai skenario prediksi kecepatan angin dengan menggunakan beberapa ukuran *timestep* dalam harian, yaitu 7, 15, 30, 45, 60, 75, dan 90 hari untuk memprediksi kecepatan angin mulai dari 1 hingga 30 hari ke depan.
3. Jumlah data yang digunakan adalah 11.354 data harian.
4. Penelitian ini menguji pendekatan univariat, yang menggunakan data historis kecepatan angin rata-rata, serta multivariat, yang memasukkan variabel eksternal yaitu temperatur rata-rata dan kelembapan rata-rata.

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja model BiLSTM dengan *attention mechanism* dalam memprediksi kecepatan angin rata-rata di Kota Batam berdasarkan data historis kecepatan angin pada tahun 1994-2025.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini menjadi sumber pengetahuan bagi pembaca dalam penerapan model BiLSTM-Attention untuk memprediksi kecepatan angin.
2. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan bagi peneliti lain yang ingin mengembangkan model BiLSTM-Attention untuk prediksi kecepatan angin.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu masyarakat Kota Batam dalam memprediksi kecepatan angin dengan lebih akurat, sehingga dapat mendukung perencanaan serta mitigasi risiko bagi masyarakat setempat.

