

Bab I

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Peramalan curah hujan adalah komponen penting dalam studi meteorologi, karena dampaknya yang luas terhadap berbagai sektor seperti pertanian, perikanan, dan perencanaan sumber daya alam (Pandey et al., 2024). Salah satu tantangan utama dalam peramalan curah hujan adalah sifat dinamis dan kompleks dari fenomena cuaca yang dipengaruhi oleh faktor-faktor *spatio-temporal* yang bersifat lokal dan global (Saha et al., 2020). Sebagai contoh, di Pulau Madura, Indonesia, curah hujan memegang peranan krusial karena mayoritas mata pencaharian penduduknya bergantung pada hasil pertanian. Pola curah hujan sangat dipengaruhi oleh kondisi geografi, perubahan iklim, serta fenomena atmosfer lokal. Oleh karena itu, penting adanya pengembangan model peramalan yang dapat menangani kedinamisan faktor-faktor tersebut secara efektif.

Pendekatan yang cukup menjanjikan untuk mengatasi permasalahan ini adalah *Spatio-Temporal* yang menggabungkan informasi geografis (spasial) dan waktu (temporal) dalam analisis data meteorologi (Asadi & Regan, 2020). Terdapat berbagai metode yang dapat diterapkan dalam peramalan curah hujan, salah satunya adalah metode *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA). Metode ARIMA menggambarkan hubungan antara pengamatan pada suatu variabel di satu titik waktu dengan pengamatan variabel yang sama pada waktu sebelumnya. Metode ini sangat cocok digunakan untuk menganalisis data dengan pola linier (Safitri et al., 2021). Fungsi transfer adalah model peramalan yang mengintegrasikan elemen-elemen dari analisis regresi berganda dengan analisis deret waktu ARIMA. Dalam model fungsi transfer dengan multi input, deret output (y_t) diperkirakan akan dipengaruhi oleh deret input (x_t) serta input-input lainnya yang digabungkan dalam kelompok yang disebut deret noise (n_t) (Abdullah et al., 2023). Lalu model GSTARX (*Generalized Spatial-Temporal Autoregressive-X*) adalah salah satu pendekatan yang sering digunakan dalam menganalisis data spasial dan temporal secara bersamaan (Toharudin et al., 2022). Model ini mampu menggambarkan hubungan antara titik-titik lokasi dengan mempertimbangkan waktu, yang sangat pen-

ting dalam memprediksi fenomena yang terpengaruh oleh perubahan iklim dan fenomena cuaca ekstrem. Penggunaan GSTARX dalam peramalan curah hujan memungkinkan untuk menangkap pola *spatio-temporal* yang ada, sehingga memberikan hasil yang lebih akurat dalam meramalkan curah hujan di suatu daerah (Sulistiyono et al., 2020).

Namun, meskipun GSTARX memiliki keunggulan dalam menangkap pola *spatio-temporal*, model ini masih memiliki keterbatasan dalam memodelkan hubungan non-linear yang sering ditemukan pada data curah hujan. Hubungan linear terjadi ketika perubahan pada satu variabel secara proporsional menyebabkan perubahan pada variabel lain, yang dapat direpresentasikan dengan garis lurus pada grafik (Jovanović et al., 2024). Sebaliknya, hubungan non-linear terjadi ketika hubungan antara dua variabel tidak dapat direpresentasikan dengan garis lurus, melainkan cenderung lebih kompleks dan membutuhkan model non-linear untuk menangkap pola tersebut (Bertoli et al., 2022). Hubungan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti interaksi kompleks antara suhu, kelembapan, kecepatan angin, dan tekanan atmosfer yang sulit dijelaskan dengan pendekatan linear (Saha et al., 2020; T. Zhang et al., 2023). Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, pendekatan berbasis kecerdasan buatan seperti *Neural Network* (NN) telah diperkenalkan. *Neural Network*, khususnya *Feed Forward Neural Network* (FFNN), mampu memodelkan hubungan non-linear yang kompleks dalam data meteorologi. FFNN bekerja dengan menggunakan lapisan tersembunyi (*hidden layers*) untuk mempelajari pola data yang rumit, yang tidak dapat ditangkap oleh model linear tradisional (Hemeida et al., 2020). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan Dada et al. (2021) menunjukkan bahwa FFNN dapat memprediksi curah hujan dengan akurasi yang baik berdasarkan data historis yang melibatkan variabel lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan kecepatan angin. Penelitian ini menegaskan bahwa model berbasis jaringan saraf mampu menangkap pola non-linear yang tidak terdeteksi oleh model tradisional.

Kombinasi GSTARX dengan *Neural Network*, yang dikenal sebagai pendekatan *hybrid*, menawarkan potensi besar untuk meningkatkan akurasi peramalan curah hujan. Penelitian oleh Safitri et al. (2021) membandingkan efektivitas tiga metode peramalan curah hujan di Kabupaten Malang dengan ARIMA, FFNN, dan *Hybrid* ARIMA-NN, menunjukkan bahwa *Hybrid* ARIMA-NN memberikan RMSE terendah (3,1056) di Manggisari. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Setyowati et al. (2021) menghasilkan bahwa model hybrid GSTARX-Elman RNN berhasil meningkatkan akurasi peramalan data *spatio-temporal* dengan menangani pola non-linier lebih baik dibandingkan model *time series regression* dan GSTARX. Demikian pula, penelitian oleh Iriany et al. (2024) mengembangkan model GSTAR-SUR-NN dengan memadukan pendekatan spasial-temporal (GSTAR), estimasi parameter yang lebih akurat (SUR), dan identifikasi pola non-linear melalui *Neural Network* dengan

hasil akurasi hingga 91.67%.

Di Pulau Madura, pengembangan model peramalan berbasis pendekatan ini menjadi sangat penting. Karakteristik curah hujan di Madura, yang dipengaruhi oleh kondisi geografis dan pola iklim regional, membutuhkan model yang mampu menangkap kompleksitas hubungan antara faktor-faktor lingkungan. Selain itu, dengan memanfaatkan variabel pendukung seperti kelembapan, suhu, dan kecepatan angin, akurasi model dapat ditingkatkan lebih jauh. Studi oleh Sulistyono et al. (2020) menggaris bawahi pentingnya penggunaan variabel-variabel ini dalam meningkatkan prediksi curah hujan di wilayah dengan pola cuaca yang kompleks. Lebih lanjut, penelitian oleh Biswas et al. (2022) menunjukkan bahwa kelembapan udara memiliki korelasi kuat dengan curah hujan di wilayah tropis dan dapat digunakan sebagai indikator utama dalam peramalan cuaca.

Penelitian ini mengusulkan pendekatan baru untuk memodelkan estimasi curah hujan di wilayah Pulau Madura dengan mengombinasikan proses ekstraksi dan seleksi variabel prediktor serta model *hybrid spatio-temporal* GS-TARX dan FFNN. Pendekatan ini melibatkan fitur cuaca dengan pola linier maupun non-linier, mencakup data observasi lokal, dengan mempertimbangan faktor *time-lag (temporal)* dan lokasi (*spasial*). Pada akhirnya, penelitian ini akan memberikan landasan dalam pengembangan model peramalan yang lebih efektif dan efisien dalam menangani permasalahan meteorologi yang kompleks, dengan melihat pentingnya aspek-aspek tersebut, penelitian ini berfokus pada penggunaan pendekatan *Spatio-Temporal* dan *Neural Network* dalam peramalan curah hujan di Pulau Madura. Dengan memanfaatkan data meteorologi yang tersedia, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model yang dapat meningkatkan akurasi peramalan curah hujan dan memberikan manfaat langsung bagi masyarakat, serta kontribusi pada bidang ilmu pengetahuan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang pada penelitian ini, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik curah hujan di Pulau Madura?
2. Bagaimana hasil peramalan curah hujan menggunakan model GSTARX?
3. Bagaimana model *Spatio-Temporal* dan *Neural Network* dapat meningkatkan akurasi peramalan curah hujan di Pulau Madura?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menjelaskan pola dan karakteristik curah hujan di Pulau Madura melalui visualisasi data.

2. Menilai akurasi dan efektivitas model GSTARX dalam meramalkan curah hujan dengan mempertimbangkan pengaruh variabel spasial (jarak antar lokasi) dan temporal (pola waktu), serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi performa prediksi model.
3. Mengembangkan model *Neural Network* berbasis *Spatio-Temporal* yang dapat meningkatkan akurasi peramalan curah hujan di Pulau Madura.

1.4 Batasan dan Asumsi Penelitian

Batasan masalah pada penelitian adalah:

1. Penelitian ini hanya menggunakan satu titik sampel per kabupaten di Pulau Madura untuk pengumpulan data curah hujan harian dan variabel meteorologi lainnya dalam rentang waktu dari Januari 2013 sampai dengan Desember 2023.
2. Model *Neural Network* yang dikembangkan menggunakan pendekatan *Spatio-Temporal* dan difokuskan pada *Feed Forward Neural Network* (FFNN) untuk mengatasi tantangan prediksi non-linear dalam peramalan cuaca.
3. Penelitian ini hanya mengevaluasi kinerja model pada tingkat lokal di Pulau Madura, dan tidak mencakup perbandingan antar-wilayah atau generalisasi model ke wilayah lain dengan kondisi iklim berbeda.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan peramalan curah hujan di Pulau Madura;
2. Mengetahui model GSTARX - *Feed Forward Neural Network* (FFNN) yang sesuai untuk data curah hujan di wilayah Pulau Madura.
3. Mengidentifikasi pengaruh variabel lingkungan, seperti kelembapan, suhu, dan kecepatan angin, terhadap akurasi model peramalan curah hujan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir disajikan dengan susunan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan dan asumsi penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II Landasan Teori

Pada bab ini akan berisi penelitian terkait dan dasar-dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian yang akan dilakukan.

BAB III Metodologi

Pada bab ini, akan berisi tentang tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan dalam menyelesaikan masalah yang telah dikemukakan pada rumusan masalah.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini, menyajikan hasil-hasil yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan, dapat berupa tabel, grafik ataupun diagram. Pembahasan hasil dengan mengaitkan dengan teori dan penelitian sebelumnya untuk memberikan interpretasi dan pemahaman lebih dalam mengenai temuan. Pembahasan ini juga mencakup apakah hasil mendukung atau bertentangan dengan *hopetesis* atau rumusan masalah.

BAB V Kesimpulan

Pada bab ini, berisi rangkuman dari hasil penelitian dan menjawab rumusan masalah. Kesimpulan ini mencakup temuan utama dari penelitian dan implikasinya, serta pemberian saran untuk penelitian lebih lanjut.