

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan iklim tropis memiliki karakteristik curah hujan yang sangat kompleks. Variabilitas iklim di wilayah ini dipengaruhi oleh fenomena global seperti El Niño-Southern Oscillation (ENSO), Indian Ocean Dipole (IOD), hingga dinamika monsun Asia–Australia. Selain itu, faktor lokal seperti topografi, kedekatan dengan lautan, dan adanya angin darat-laut turut memperkaya dinamika hujan di Indonesia. Menurut Boer dan Faqih (2004), heterogenitas spasial curah hujan di Indonesia menjadikan wilayah ini sebagai salah satu yang paling sulit diprediksi di dunia. Perbedaan pola musiman antara Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua menunjukkan betapa pentingnya pemodelan yang memperhatikan variasi spasial.

Peramalan curah hujan memiliki urgensi tinggi karena berkaitan langsung dengan sektor strategis seperti pertanian, pengelolaan sumber daya air, hingga mitigasi bencana hidrometeorologi. Salah satu skala waktu yang dianggap relevan adalah **dekadal (10 harian)**, sebab skala ini mampu memberikan informasi yang lebih operasional dibandingkan bulanan, namun tetap lebih stabil dibandingkan harian. Menurut Aldrian dan Susanto (2003), informasi curah hujan dekadal dapat membantu perencanaan musim tanam dan strategi adaptasi terhadap variabilitas iklim. Sayangnya, metode peramalan konvensional seperti regresi linier, ARIMA, ataupun model deret waktu klasik seringkali gagal menangkap pola nonlinier dan hubungan jangka panjang yang memengaruhi curah hujan tropis.

Perkembangan *machine learning* dan *deep learning* dalam dekade terakhir telah membuka peluang besar dalam peramalan iklim. Salah satu pendekatan yang menonjol adalah **Temporal Convolutional Network (TCN)**. Bai et al. (2018) menunjukkan bahwa TCN lebih unggul dibandingkan Recurrent Neural Network (RNN) seperti LSTM atau GRU dalam memprediksi deret waktu panjang, berkat arsitektur *dilated causal convolution* yang stabil dan efisien. Lebih lanjut, Lim et al. (2021) juga menekankan bahwa pendekatan berbasis *deep learning* berpotensi meningkatkan akurasi multi-horizon forecasting pada data meteorologi yang kompleks. Hal ini menjadikan TCN sebagai kandidat menjanjikan untuk peramalan curah hujan dekadal di wilayah tropis seperti Indonesia.

Walaupun penelitian internasional sudah banyak membuktikan efektivitas TCN dalam prediksi deret waktu, penerapannya untuk curah hujan di Indonesia masih terbatas. Beberapa studi terdahulu lebih banyak berfokus pada model LSTM atau regresi spasial, namun hasilnya masih belum konsisten (Pramudya et al., 2021). Padahal, mengingat heterogenitas spasial curah hujan di Indonesia, dibutuhkan pendekatan baru yang mampu mengakomodasi kompleksitas pola spasial-temporal. Di sisi lain, penelitian terkait **multi-horizon forecasting** pada skala dekadal di Indonesia juga masih jarang dilakukan, sehingga celah riset ini sangat penting untuk dieksplorasi.

Dengan mempertimbangkan kebutuhan praktis serta peluang metodologis, penelitian tentang **heterogenitas spasial dan akurasi multi-horizon peramalan curah hujan dekadal menggunakan TCN di Indonesia** menjadi sangat relevan. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan peramalan iklim berbasis *deep learning*, sekaligus menghasilkan manfaat aplikatif bagi ketahanan pangan, pengelolaan sumber daya air, dan sistem peringatan dini bencana hidrometeorologi. Dengan demikian, penelitian ini bukan hanya signifikan secara akademik, tetapi juga strategis dalam mendukung pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah penelitian ini dapat dirinci sebagai berikut:

1. Heterogenitas Spasial Curah Hujan

- a. Bagaimana distribusi spasial curah hujan dekadal di Indonesia pada berbagai wilayah dengan karakteristik iklim yang berbeda (misalnya Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Papua)?
- b. Sejauh mana perbedaan heterogenitas spasial tersebut memengaruhi tingkat kesulitan dalam peramalan curah hujan dekadal?

2. Akurasi Model Temporal Convolutional Network (TCN)

- a. Bagaimana performa TCN dalam memodelkan pola curah hujan dekadal di Indonesia?
- b. Apakah TCN mampu memberikan akurasi yang lebih baik dibandingkan model baseline seperti ARIMA, LSTM, dan GRU?

- c. Faktor apa saja yang memengaruhi kinerja TCN dalam peramalan curah hujan dekadal?

3. **Multi-Horizon Forecasting**

- a. Bagaimana akurasi TCN dalam melakukan peramalan curah hujan pada berbagai horizon waktu (1 dekade ke depan, 2 dekade, hingga 6 dekade ke depan)?
- b. Apakah terdapat penurunan akurasi yang signifikan seiring bertambahnya horizon prediksi?
- c. Bagaimana perbedaan hasil multi-horizon forecasting antar wilayah dengan heterogenitas spasial yang tinggi?

4. **Analisis dan Implikasi Praktis**

- a. Bagaimana hasil peramalan TCN dapat diinterpretasikan untuk mendukung sistem peringatan dini bencana hidrometeorologi?
- b. Bagaimana rekomendasi pemanfaatan model TCN bagi sektor pertanian dan pengelolaan sumber daya air di Indonesia?

1.3 **Batasan Masalah**

Agar penelitian ini terarah dan tidak melebar, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada hal-hal berikut:

1. **Objek Penelitian**

- a. Penelitian difokuskan pada data **curah hujan dekadal (10 harian)** di Indonesia.
- b. Data bersumber dari **BMKG** dan/atau dataset satelit global seperti **CHIRPS**, dengan periode minimal 20 tahun terakhir.

2. **Cakupan Wilayah**

- a. Analisis dilakukan pada beberapa wilayah representatif di Indonesia (misalnya Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Papua) untuk menangkap **heterogenitas spasial**.
- b. Penelitian tidak membahas semua titik/grid secara nasional secara detail, melainkan diwakili oleh area dengan perbedaan iklim yang jelas.

3. **Metode Peramalan**

- a. Model utama yang digunakan adalah **Temporal Convolutional Network (TCN)**.

- b. Model pembandingan yang digunakan hanya mencakup **ARIMA, LSTM, dan GRU** sebagai baseline.
 - c. Model lain seperti Transformer, CNN-LSTM hybrid, atau metode statistik lanjutan tidak dibahas secara mendalam.
4. **Horizon Peramalan**
- a. Peramalan dibatasi pada **multi-horizon 1 hingga 6 dekade ke depan** (setara dengan 10–60 hari).
 - b. Horizon prediksi lebih panjang (musiman atau tahunan) tidak menjadi fokus penelitian ini.
5. **Evaluasi Kinerja**
- a. Evaluasi model hanya menggunakan metrik kuantitatif: **RMSE, MAE, MAPE, dan NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency)**.
 - b. Analisis sensitivitas terhadap faktor iklim global (ENSO, IOD, monsun) hanya digunakan sebagai **diskusi pendukung**, bukan sebagai model prediktor utama.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan **Temporal Convolutional Network (TCN)** dalam peramalan curah hujan dekadal di Indonesia dengan mempertimbangkan heterogenitas spasial dan akurasi multi-horizon. Secara rinci, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. **Menganalisis heterogenitas spasial curah hujan dekadal** di berbagai wilayah Indonesia serta mengidentifikasi perbedaan pola iklim antar kawasan yang dapat memengaruhi tingkat akurasi peramalan.
2. **Mengevaluasi keterbatasan metode peramalan tradisional** seperti ARIMA dan model berbasis deret waktu sederhana (misalnya LSTM atau GRU) dalam memprediksi curah hujan dekadal di Indonesia.
3. **Membangun dan mengimplementasikan model Temporal Convolutional Network (TCN)** untuk melakukan peramalan curah hujan dekadal dengan mempertimbangkan variasi spasial dan temporal.
4. **Menguji akurasi multi-horizon forecasting menggunakan TCN**, yaitu kemampuan model dalam memprediksi curah hujan untuk 1 hingga 6 dekade ke depan, serta membandingkan hasilnya dengan model pembandingan.

5. **Memberikan rekomendasi aplikatif** terkait potensi pemanfaatan hasil peramalan curah hujan dekadal berbasis TCN untuk mendukung sektor pertanian, pengelolaan sumber daya air, dan sistem peringatan dini bencana hidrometeorologi di Indonesia.