

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Curah hujan merupakan salah satu faktor iklim yang paling berpengaruh dalam membentuk sistem sosial-ekonomi dan lingkungan di wilayah tropis. Informasi yang akurat mengenai distribusi dan intensitas curah hujan sangat penting bagi perencanaan pertanian, pengelolaan sumber daya air, serta mitigasi bencana hidrometeorologi seperti banjir dan kekeringan [1], [2]. Indonesia, sebagai negara kepulauan yang luas dan berada dalam zona iklim monsun tropis, menunjukkan variabilitas spasial dan temporal yang signifikan dalam pola curah hujannya. Variabilitas ini dipengaruhi oleh dinamika atmosfer internal dan penggerak eksternal, termasuk *El Niño–Southern Oscillation (ENSO)*, *Indian Ocean Dipole (IOD)*, dan *Madden–Julian Oscillation (MJO)* [3], [4]. Kompleksitas dinamika iklim tersebut menjadikan peramalan curah hujan dekadal (10-harian) sebagai tantangan ilmiah sekaligus kebutuhan operasional yang mendesak [5], [6].

Pendekatan tradisional dalam peramalan curah hujan umumnya mencakup model statistik dan simulasi numerik. Metode klasik seperti *autoregressive integrated moving average (ARIMA)* dan model musiman naïf relatif sederhana serta mampu menangkap pola musiman dasar [7]. Namun demikian, model-model tersebut sering kali gagal merepresentasikan karakteristik nonlinier dan kejadian ekstrem yang umum terjadi pada iklim tropis [2]. Model numerik atau model berbasis fisik, seperti *general circulation models*, memang menawarkan representasi atmosfer yang lebih komprehensif, tetapi membutuhkan sumber daya komputasi yang tinggi dan sering kali kurang presisi pada skala regional [8].

Kemunculan *machine learning* dan *deep learning* telah membuka peluang baru bagi peramalan deret waktu iklim. *Recurrent neural networks (RNNs)*—khususnya *long short-term memory (LSTM)*—telah diterapkan dalam peramalan curah hujan jangka pendek dan menunjukkan peningkatan kinerja dibandingkan pendekatan statistik [3], [9]. Meskipun demikian, LSTM masih memiliki keterbatasan dalam efisiensi pelatihan dan kesulitan dalam menangkap ketergantungan jangka panjang pada data berskala besar [10]. Dalam konteks ini, *Temporal Convolutional Network (TCN)* muncul sebagai alternatif yang menjanjikan karena arsitektur konvolusionalnya yang stabil, kemampuan pemrosesan paralel yang efisien, serta kapasitas yang kuat dalam mengekstraksi pola temporal [10], [11], [12].

Sejumlah studi sebelumnya telah menyoroti potensi TCN dalam aplikasi hidrometeorologi. Misalnya, penelitian di Tiongkok menunjukkan bahwa TCN mampu melampaui kinerja LSTM dalam peramalan curah hujan bulanan [13], sementara studi lain melaporkan keberhasilan TCN dalam menangani variabilitas ekstrem aliran sungai [12]. Namun, penelitian mengenai penerapan TCN dalam peramalan curah hujan dekadal di wilayah tropis yang memiliki heterogenitas spasial tinggi—khususnya Indonesia—masih terbatas. Penelitian semacam ini sangat penting

mengingat nilai operasional dari informasi skala dekadal untuk perencanaan irigasi dan distribusi air.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini diarahkan untuk menjawab persoalan inti terkait kemampuan model deep learning dalam memprediksi curah hujan dekadal di Indonesia yang memiliki dinamika iklim kompleks serta heterogenitas spasial tinggi. Rumusan masalah dirumuskan sebagai berikut:

1. Ketidakmampuan model statistik klasik dalam menangkap karakteristik nonlinier dan kejadian ekstrem pada pola curah hujan di wilayah tropis.
2. Tantangan dalam memprediksi curah hujan dekadal akibat variabilitas temporal yang tinggi serta pengaruh faktor iklim global seperti ENSO, IOD, dan MJO.
3. Kebutuhan evaluasi apakah *Temporal Convolutional Network (TCN)* mampu memberikan peningkatan akurasi dibandingkan baseline musiman pada horizon prediksi jangka pendek dan multi-horizon.
4. Ketidakterjelasan sejauh mana TCN dapat mengatasi perbedaan performa antarwilayah akibat heterogenitas spasial.

1.3 Batasan Masalah

Batasan diterapkan untuk menjaga fokus penelitian dan memastikan metodologi konsisten. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada:

1. Data yang digunakan berupa curah hujan dekadal periode 1981–2025.
2. Unit spasial yang digunakan adalah wilayah administratif berbasis PCODE.
3. Model yang dievaluasi adalah *Temporal Convolutional Network (TCN)* dengan tambahan *region embedding*.
4. Horizon prediksi dibatasi pada $t+1$ dan $t+3$.
5. Baseline pembandingan hanya mencakup model musiman naif (annual lag 36 dekad).
6. Variabel eksternal seperti ENSO, IOD, dan MJO belum diintegrasikan dalam model utama dan hanya dipertimbangkan pada analisis kelemahan.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian diarahkan untuk mencapai tujuan berikut:

1. Menganalisis dan mengevaluasi kinerja TCN dalam memprediksi curah hujan dekadal di Indonesia.
2. Membandingkan akurasi TCN dengan baseline musiman untuk horizon jangka pendek maupun multi-horizon.

3. Mengidentifikasi pola galat dan perbedaan performa antarwilayah guna memahami pengaruh heterogenitas spasial.
4. Menghasilkan temuan empiris terkait stabilitas pelatihan, kemampuan generalisasi, dan potensi pengembangan model untuk prediksi curah hujan di wilayah tropis.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian memberikan manfaat praktis dan metodologis:

1. Menyediakan bukti empiris bahwa TCN dapat meningkatkan akurasi peramalan curah hujan dekadal untuk kebutuhan operasional seperti peringatan dini, manajemen irigasi, dan pemetaan risiko hidrometeorologi.
2. Memberikan acuan metodologis penggunaan deep learning, khususnya TCN, dalam konteks klimatologi tropis.
3. Menyediakan analisis spasial yang dapat dimanfaatkan lembaga terkait untuk memahami wilayah dengan ketidakpastian prediksi tinggi.
4. Menjadi dasar bagi pengembangan model hidrometeorologi berbasis variabel eksogen dan pendekatan ensemble pada penelitian selanjutnya.