

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim global merupakan salah satu permasalahan lingkungan paling kritis pada abad ke-21 akibat meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, khususnya karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) [1,2]. Peningkatan emisi karbon  $\text{CO}_2$  terutama berasal dari aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, produksi energi, transportasi, dan kegiatan industri. Kondisi tersebut menyebabkan kenaikan suhu rata-rata global, perubahan pola cuaca, serta meningkatnya intensitas kejadian cuaca ekstrem. Data global menunjukkan bahwa emisi karbon  $\text{CO}_2$  terus meningkat dalam beberapa dekade terakhir seiring dengan pertumbuhan kebutuhan energi dan aktivitas industri [3]. Permasalahan dalam penelitian ini adalah sulitnya menghasilkan prediksi emisi karbon  $\text{CO}_2$  yang konsisten karena data tahunan memiliki pola *non-linear*, ketergantungan jangka panjang, nilai fitur yang tidak lengkap, dan perbedaan skala emisi yang besar antar entitas. Metode konvensional masih memiliki keterbatasan dalam mempelajari karakteristik data tersebut, terutama hubungan temporal dan pola jangka panjang [4–6]. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk mengembangkan dan mengevaluasi model prediksi yang mampu mempelajari pola historis emisi secara lebih baik sehingga hasilnya dapat memberikan gambaran berbasis data mengenai arah perkembangan emisi global.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk memprediksi emisi karbon menggunakan pendekatan *deep learning*, dan menunjukkan bahwa berbagai arsitektur *deep learning* memiliki performa yang baik dalam prediksi emisi karbon [7]. LSTM merupakan pengembangan dari *Recurrent Neural Network* (RNN) yang dirancang untuk mengatasi ketergantungan jangka panjang pada data sekuensial [8]. Penelitian menunjukkan bahwa model LSTM menghasilkan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 1,26, lebih rendah dibandingkan ARIMA sebesar 1,86 dan Prophet sebesar 1,39 [4]. Selain itu, penelitian lain mengungkapkan bahwa LSTM efektif dalam memodelkan hubungan antara konsumsi energi dan emisi karbon serta mampu menangkap pola jangka panjang pada data deret waktu [5,6]. Studi tinjauan literatur juga menunjukkan bahwa berbagai model *deep learning*, termasuk LSTM, memiliki potensi yang signifikan dalam prediksi emisi karbon [9]. Oleh karena itu, metode *deep learning* menjadi alternatif yang lebih efektif dalam memodelkan data kompleks.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model prediksi emisi karbon menggunakan metode *Long Short-Term Memory* (LSTM) dengan memanfaatkan data historis emisi karbon global. Data yang digunakan diperoleh dari platform *Our World in Data*, khususnya *dataset CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions* yang menyediakan informasi emisi karbon berdasarkan negara dan tahun. Model LSTM digunakan untuk mempelajari pola historis pada data deret waktu emisi karbon. Model ini diharapkan dapat menghasilkan prediksi tren emisi karbon di masa mendatang secara lebih akurat. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan judul “**Prediksi Emisi Karbon CO<sub>2</sub> Menggunakan LSTM.**”

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sulitnya memprediksi perubahan emisi karbon CO<sub>2</sub> secara akurat akibat karakteristik data *time series* yang *non-linear*.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan dan mengevaluasi model LSTM untuk memprediksi tren emisi karbon CO<sub>2</sub> global berdasarkan data historis yang memiliki pola *non-linear* dan ketergantungan jangka panjang.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa model prediksi yang mampu memperkirakan tren emisi karbon CO<sub>2</sub> di masa mendatang berdasarkan data historis. Hasil prediksi tersebut dapat digunakan sebagai dasar informasi dalam memahami perkembangan emisi karbon secara global. Selain itu, penelitian ini juga memberikan gambaran mengenai kemampuan model dalam menangani pola *non-linear* dan ketergantungan jangka panjang pada data deret waktu.

## 1.5 Ruang Lingkup

Agar penelitian ini lebih terarah dan terfokus, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada beberapa hal sebagai berikut:

1. *Dataset* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data emisi karbon global yang diperoleh dari *Our World in Data CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions* dengan jumlah sebanyak 50.411 data observasi yang dapat diakses melalui: [https://ourworldindata.org/CO<sub>2</sub>-and-greenhouse-gas-emissions](https://ourworldindata.org/CO2-and-greenhouse-gas-emissions).

*Dataset* menggunakan kolom *co2* sebagai *target* prediksi. *Dataset* awal mencakup periode 1750–2024, sedangkan data yang masuk ke pemodelan dibatasi pada periode 1970–2024 agar analisis berfokus pada pola emisi modern. Entitas yang digunakan adalah negara dengan kode ISO tiga huruf dan entitas *World*. Pembatasan tersebut diterapkan sebelum pembentukan data deret waktu.

2. Penelitian ini berfokus pada analisis data deret waktu (*time series*) dan prediksi emisi karbon CO<sub>2</sub> berdasarkan data historis setiap entitas. Model dilatih menggunakan data negara berkode ISO dan entitas *World*, sedangkan penyajian perbandingan nilai aktual, *recursive backtesting*, dan proyeksi masa depan difokuskan pada entitas *World*.
3. Proses penelitian meliputi pengumpulan dan penyaringan data, pemilihan fitur, pembagian data secara temporal, penanganan nilai kosong, pembatasan nilai ekstrem, normalisasi, pembentukan *sequence*, pengujian *hyperparameter*, pelatihan model, dan evaluasi hasil prediksi.
4. Penelitian ini tidak membahas secara mendalam mengenai kebijakan energi atau strategi pengendalian emisi karbon, melainkan berfokus pada penerapan metode *deep learning* untuk prediksi emisi karbon.
5. *Output* penelitian berupa nilai prediksi emisi karbon CO<sub>2</sub> dalam bentuk data numerik, perbandingan nilai aktual dan prediksi tahun 2015–2024, hasil *recursive backtesting*, serta proyeksi emisi karbon tahun 2025–2034. Kinerja model dievaluasi menggunakan metrik MAE, RMSE, R<sup>2</sup>, dan MAPE.