

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim bumi saat ini menjadi ancaman dan tantangan global yang mendesak terutama akibat peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer yang dapat menimbulkan pengaruh yang merugikan bagi kehidupan manusia serta juga kesehatan dari planet (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2004 Tentang Pengesahan Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 2004). Faktor utama yang berkontribusi terhadap fenomena ini adalah aktivitas dari manusia, khususnya melalui emisi gas rumah kaca secara gamblang yang menyebabkan pemanasan suhu secara global. Emisi gas rumah kaca terus meningkat, dengan kontribusi historis dan berkelanjutan yang tidak merata yang timbul dari penggunaan energi yang tidak berkelanjutan, manufaktur barang, penebangan pohon dan penggunaan lahan dan pembakaran lahan, transportasi, gaya hidup dan pola konsumsi serta produksi di seluruh wilayah, antara dan di dalam negara, dan di antara individu (Perserikatan Bangsa - Bangsa, 2022)(Nandy, 2021).

Dari Sejak abad ke-19, ilmuwan telah mengamati bahwa gas-gas tertentu, terutama karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dapat menyebabkan efek rumah kaca yang berdampak pada suhu Bumi (The Carbon Dioxide Greenhouse Effect, 2024). Efek rumah kaca merupakan proses alami di mana atmosfer Bumi menahan sebagian energi panas yang dipancarkan oleh permukaan Bumi. Gas-gas rumah kaca Terutama seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) menyerap serta memancarkan kembali radiasi inframerah, yang pada akhirnya meningkatkan suhu permukaan Bumi (The Carbon Dioxide Greenhouse Effect, 2024)(Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2018).

Pada tahun 2024, emisi karbon global dari bahan bakar fosil mencapai tingkat tertinggi dalam sejarah, dengan total emisi CO<sub>2</sub> global diperkirakan mencapai 41,6 miliar ton, meningkat dari 40,6 miliar ton pada tahun sebelumnya. Selain itu,

fenomena El Niño 2023-2024 turut memperparah deforestasi dan kebakaran hutan, yang menyebabkan lonjakan emisi CO<sub>2</sub> dari perubahan penggunaan lahan (Global Karbon Project, 2024).

Peningkatan emisi CO<sub>2</sub> ini berkontribusi terhadap pemanasan global yang lebih cepat dan tidak terkendali, mendorong cuaca ekstrem serta perubahan iklim yang semakin berdampak luas. Oleh karena itu, diperlukan strategi mitigasi yang efektif, salah satunya dengan melakukan peramalan konsentrasi CO<sub>2</sub> di masa depan guna mendukung pengambilan keputusan berbasis data untuk mengendalikan emisi dan membatasi kenaikan suhu global (Giannelos et al., 2024).

Penelitian mengenai hubungan antara gas rumah kaca dan pemanasan global telah berlangsung sejak abad ke-19. Svante Arrhenius (1896) mengusulkan bahwa peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> dapat menyebabkan kenaikan suhu Bumi, sementara Guy Stewart Callendar (1930-an hingga 1940-an) membuktikan hubungan empiris antara konsentrasi CO<sub>2</sub> dan perubahan suhu berdasarkan pengamatan langsung. Dan sejak kemunculan komputer digital, pertama kali pada tahun 1960-an, memungkinkan dunia untuk memprakirakan cuaca rutin, yang pada gilirannya mengarah pada pengembangan model sirkulasi umum untuk simulasi iklim. Saat ini, proyeksi pemanasan iklim dibuat dengan menggunakan Model Sistem Bumi (ESM). Kita membutuhkan lebih dari sekadar proyeksi iklim rata-rata global (Anderson et al., 2016).

Di era modern, penelitian tentang peramalan konsentrasi CO<sub>2</sub> menggunakan data runtun Waktu atau timeseries menjadi lebih relevan, terutama dengan meningkatnya emisi CO<sub>2</sub> akibat aktivitas manusia. Model peramalan seperti *AutoRegressive Integrated Moving Average* (ARIMA) ataupun *Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average* (SARIMA) dan *Long Short-Term Memory* (LSTM) dan Gabungan ARIMA-LSTM telah digunakan secara luas dalam berbagai studi. Salah satu penelitian yang menonjol dalam bidang ini dilakukan oleh (Wen et al., 2023) yang mengembangkan model ARIMA, LSTM, *Hybrid* ARIMA-LSTM untuk meramalkan emisi CO<sub>2</sub> di China dan wilayah-wilayahnya. Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi ARIMA dan LSTM dapat menghasilkan peramalan yang lebih akurat dibandingkan dengan model ARIMA atau LSTM yang berdiri sendiri. Ada juga

penelitian yang dilakukan oleh (Ilma et al., 2022) yang membandingkan efektivitas metode SARIMA dan LSTM dalam meramalkan emisi karbon dengan data untuk wilayah amerika serikat. Pada penelitiannya menunjukkan hasil bahwa model LSTM lebih optimal dalam mendeteksi pola dan tren emisi karbon yang ada di wilayah amerika serikat dibandingkan dengan metode SARIMA.

Selain itu terdapat beberapa penelitian terdahulu lainnya yang telah mengangkat model-model TimeSeries seperti ARIMA dan LSTM dalam topik peralaman konteks kasus yang hampir sama ataupun konteks kasus yang berbeda. Diantara lainnya (Zhou, Wang, Hu, & Deng, 2020) dengan judul penelitian Time series forecasting and classification models based on recurrent with attention mechanism and generative adversarial networks. Penelitian yang dilakukan oleh (Mahata et al., 2024) Comparative study of time-series forecasting models for wind power generation in Gujarat, India. Penelitian dengan ARIMA vs LSTM on NASDAQ stock exchange data yang dilakukan oleh (Kobiela et al., 2022). Penelitian dengan judul Carbon futures price forecasting based with ARIMA-CNN-LSTM model yang dilakukan oleh (Ji et al., 2019). Penelitian yang dilakukan (Bhatt et al., 2023) dengan judul Forecasting and mitigation of global environmental carbon dioxide emission using machine learning techniques.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan model ARIMA dan LSTM dalam peramalan konsentrasi CO<sub>2</sub>. Data terkini akan digunakan dengan dua pendekatan, yakni kondisi data yang sedikit dan data yang besar, guna menguji hipotesis terkait performa kedua model. Hasil peramalan dari kedua model ini diharapkan dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam mitigasi emisi CO<sub>2</sub>.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang akan dijawab dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara membandingkan kinerja algoritma ARIMA dan LSTM dalam meramalkan tingkat konsentrasi CO<sub>2</sub> emisi atmosfer untuk masa mendatang?

2. Bagaimana Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi ketepatan hasil peramalan yang dihasilkan oleh algoritma ARIMA dan LSTM pada data konsentrasi CO<sub>2</sub> emisi atmosfer?
3. Bagaimana performa masing-masing algoritma (ARIMA dan LSTM) dalam hal akurasi, kestabilan, dan kompleksitas model ketika diterapkan pada data time series konsentrasi CO<sub>2</sub> emisi atmosfer?
4. Apakah terdapat perbedaan signifikan antara hasil peramalan menggunakan algoritma ARIMA dan LSTM dalam memprediksi tingkat konsentrasi CO<sub>2</sub> emisi atmosfer?
5. Apa implikasi dari hasil peramalan terhadap upaya mitigasi perubahan iklim?

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian terhadap sangat diperlukan adanya pembatasan dalam suatu permasalahan agar penelitian ini menjadi terarah dan memudahkan dalam pembatasan hingga tujuan utama pada penelitian ini dapat sesuai dan tercapai. Ada beberapa batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu :

1. Penelitian ini menggunakan 3 metode, yaitu AutoRegressive Integrated Moving Average (ARIMA) dengan parameter dari rekomendasi Auto-ARIMA, ARIMA *Seasonal* berdasarkan analisis manual uji ADF, *Seasonal Decompose*, Plot ACF dan PACF , LSTM yang parameternya dicari secara manual melalui eksperimen hiperparameter.
2. Menggunakan dua skenario data penelitian, bertujuan untuk membandingkan kinerja model pada dua skenario data saja, yaitu data lengkap (18.502 baris) dan data terbatas (379 baris). Variasi ukuran data lain atau karakteristik data yang berbeda tidak dieksplorasi.
3. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang berasal dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) saja. Data dari sumber lain atau data dengan karakteristik yang berbeda tidak dipertimbangkan.
4. Variabel dari penelitian ini meliputi, Variabel dependen dalam penelitian ini adalah tingkat konsentrasi CO<sub>2</sub> (PPM) yang diprediksi, sedangkan variabel independennya berupa data *historis* tingkat konsentrasi CO<sub>2</sub> berdasarkan dua

skenario yang berbeda. Skenario pertama mencakup rentang data dari 19 Mei 1974 hingga 12 Januari 2025, dengan total 18.502 baris data. Sementara itu, skenario kedua mencakup data dari 19 Desember 2023 hingga 31 Desember 2024, yang diukur secara global.

5. Penelitian ini menggunakan metrik evaluasi tertentu, yaitu Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE), untuk membandingkan kinerja model. Metrik evaluasi lain yang mungkin relevan tidak dipertimbangkan.
6. Penelitian ini tidak secara eksplisit mempertimbangkan faktor-faktor eksternal yang mungkin mempengaruhi konsentrasi CO<sub>2</sub>, seperti perubahan kebijakan, peristiwa alam, atau faktor sosial-ekonomi.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan oleh penulis sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis dan membandingkan kinerja algoritma ARIMA dan LSTM dalam meramalkan tingkat konsentrasi CO<sub>2</sub> emisi atmosfer untuk masa mendatang.
2. Untuk mengevaluasi faktor-faktor yang mempengaruhi akurasi hasil peramalan pada algoritma ARIMA dan LSTM dalam konteks data time series konsentrasi CO<sub>2</sub> emisi atmosfer.
3. Untuk mengukur dan membandingkan akurasi, kestabilan, dan kompleksitas model yang dihasilkan oleh algoritma ARIMA dan LSTM pada data yang digunakan dalam penelitian ini.
4. Untuk memberikan rekomendasi mengenai algoritma yang lebih tepat digunakan untuk peramalan tingkat konsentrasi CO<sub>2</sub> emisi atmosfer berdasarkan hasil perbandingan antara ARIMA dan LSTM.
5. Mengidentifikasi Memberikan rekomendasi untuk pemodelan peramalan CO<sub>2</sub> yang dapat mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam mitigasi perubahan iklim.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat Akademis:

1. Penelitian ini memberikan wawasan mendalam tentang perbandingan kinerja model peramalan deret waktu yang berbeda (ARIMA, SARIMA, LSTM) dalam konteks data emisi CO<sub>2</sub>. Hal ini berkontribusi pada literatur ilmiah tentang peramalan deret waktu dan aplikasinya dalam ilmu lingkungan.
2. Penelitian ini menyediakan studi kasus empiris tentang bagaimana kinerja model peramalan bervariasi tergantung pada karakteristik data (ukuran, kompleksitas, pola musiman). Ini dapat menjadi referensi bagi peneliti lain yang ingin membandingkan model peramalan dalam konteks yang berbeda.
3. Penelitian ini dapat mendorong pengembangan metodologi peramalan yang lebih baik untuk data emisi CO<sub>2</sub>, termasuk model hybrid yang menggabungkan kekuatan model yang berbeda.
4. Sebagai persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana

Manfaat Praktis:

1. Hasil peramalan dari penelitian ini dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam merancang kebijakan mitigasi emisi CO<sub>2</sub> yang lebih efektif dan terukur.
2. Peramalan emisi CO<sub>2</sub> dapat membantu pemerintah dan organisasi dalam merencanakan dan mengevaluasi program-program pengurangan emisi serta memantau kemajuan dalam mencapai target iklim.
3. Penelitian ini dapat meningkatkan kesadaran publik tentang tren emisi CO<sub>2</sub> dan urgensi tindakan mitigasi perubahan iklim melalui visualisasi data dan analisis yang mudah dipahami.
4. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk mengembangkan alat peramalan yang lebih akurat dan mudah digunakan untuk memprediksi emisi CO<sub>2</sub> di masa depan.

5. Sektor swasta dapat menggunakan hasil peramalan untuk merencanakan investasi dalam teknologi rendah karbon dan mengelola risiko terkait perubahan iklim.

### 1.6 Mata Kuliah Yang Mendasari

Penelitian ini didasarkan pada beberapa mata kuliah yang telah penulis pelajari selama studi. Mata kuliah Machine Learning, Deep Learning, dan Data Science memberikan pemahaman mendalam tentang algoritma, khususnya pembelajaran mesin, yang nantinya digunakan untuk mengembangkan model analisis prediktif dalam penelitian ini. Selanjutnya, mata kuliah Metodologi Penelitian dan Kapita Selekta memberikan landasan teoritis dan praktis dalam merancang kerangka penelitian, memilih metode yang tepat, serta menganalisis dan menginterpretasikan hasil penelitian.

Dengan demikian, kombinasi dari mata kuliah-mata kuliah ini memberikan dasar yang kuat bagi penulis untuk melakukan penelitian ini secara komprehensif dan akurat, mulai dari pengumpulan dan pengolahan data, pengembangan dan evaluasi model peramalan, hingga analisis dan interpretasi hasil penelitian untuk menjawab pertanyaan penelitian yang diajukan.

