

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam tugas akhir ini, penelitian berfokus pada pengujian prediksi harga emisi karbon di pasar perdagangan karbon menggunakan pendekatan hybrid yang menggabungkan model *Prophet* dan *Long Short-Term Memory* (LSTM). Dalam isu-isu lingkungan global, emisi karbon sering dibahas karena sangat erat kaitannya dengan perubahan iklim dan keberlanjutan. Untuk mengatasi hal ini, skema perdagangan karbon telah dibentuk oleh banyak negara, dengan memanfaatkan harga karbon sebagai tuas finansial untuk mengatur emisi gas rumah kaca [1], [2].

Peramalan harga emisi karbon memiliki banyak tantangan karena sifatnya yang dinamis dan volatil, dipengaruhi oleh sentimen pasar, regulasi, dan musiman [3], [4]. Metode deret waktu konvensional seperti *ARIMA* seringkali kesulitan untuk secara efektif memodelkan pola-pola nonlinier yang kompleks pada data harga karbon [5]. Oleh karena itu, penelitian modern beralih ke model *machine learning* dan *deep learning* yang lebih canggih [6]. Salah satu metode yang populer adalah *Long Short-Term Memory* (LSTM), yang dirancang khusus untuk menangkap dependensi jangka panjang [7]. Di sisi lain, model *Prophet* efektif untuk data dengan komponen tren dan musiman yang kuat [8].

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa model hybrid yang menggabungkan beberapa metode dapat mengungguli model tunggal. Berbeda dengan penelitian sebelumnya oleh Meng dan Dou (2024) yang menggunakan model *ensemble Prophet-LSTM-BP* yang kompleks [9], penelitian ini mengusulkan arsitektur hybrid yang lebih sederhana namun efektif dengan fokus pada *residual learning*. Tujuannya adalah untuk

menangkap pola non-linier yang diabaikan oleh Prophet tanpa memerlukan lapisan ensemble tambahan yang rumit.

Studi ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi empat model peramalan: Prophet, LSTM, Hybrid Prophet-LSTM, dan model Hybrid Prophet-LSTM yang disempurnakan melalui residual learning. Keempat model dilatih dan diuji menggunakan data historis harga emisi karbon harian yang diperoleh dari platform investing.com, dan kinerjanya dievaluasi menggunakan metrik evaluasi seperti *RMSE*, *MAE*, dan *MAPE*. Selain meningkatkan akurasi peramalan, penelitian ini juga dapat membuat perusahaan lebih sadar akan keberlanjutan. Dengan memahami potensi biaya emisi karbon, bisnis dapat lebih termotivasi untuk mengadopsi praktik yang lebih ramah lingkungan, seperti berinvestasi dalam energi terbarukan atau berpartisipasi dalam skema perdagangan karbon secara lebih aktif [10]. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi secara teknis, tetapi juga dalam mempromosikan kesadaran lingkungan dan perilaku bisnis yang bertanggung jawab.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini dirancang untuk menjawab serangkaian pertanyaan kunci yang muncul dari tantangan dalam memprediksi harga emisi karbon. Pertanyaan-pertanyaan tersebut dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana implementasi arsitektur dari model Prophet, LSTM, dan dua varian model hybrid diterapkan untuk memprediksi harga emisi karbon?
2. Bagaimana perbandingan kinerja akurasi antara keempat arsitektur model tersebut berdasarkan metrik evaluasi standar (*RMSE*, *MAE*, dan *MAPE*)?

1.3 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini dilaksanakan untuk mencapai beberapa tujuan yang sekaligus diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Membangun dan mengevaluasi empat arsitektur model peramalan Prophet, LSTM, dan dua varian hybrid untuk mengidentifikasi model dengan akurasi prediksi tertinggi.
2. Menganalisis efektivitas keempat model menggunakan evaluasi metrik RMSE, MAE, MAPE

1.4 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus dan kedalaman analisis, penelitian ini dibatasi pada beberapa ruang lingkup yang spesifik sebagai berikut:

1. Data yang digunakan adalah data deret waktu historis berupa harga penutupan harian (*daily closing prices*) untuk emisi karbon berjangka (Carbon Emissions Futures - CFI2M5).
2. Periode data dibagi secara tegas menjadi data latih (Januari 2012 - Maret 2023) dan data uji (April 2023 - Maret 2025).
3. Analisis hanya difokuskan pada evaluasi dan perbandingan empat arsitektur peramalan yang telah ditentukan: Prophet, LSTM, serta dua varian model hybrid.
4. Model yang dikembangkan hanya menggunakan data harga historis sebagai variabel input utama dan tidak memasukkan faktor-faktor eksternal lain seperti data fundamental ekonomi atau perubahan kebijakan pemerintah.

1.5 Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang sistematis dan terstruktur, yang dirancang untuk menjawab pertanyaan penelitian secara komprehensif. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur:

Tahap awal penelitian adalah melakukan kajian literatur secara mendalam. Kegiatan ini mencakup identifikasi, peninjauan, dan sintesis penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik peramalan harga karbon, model Prophet, dan arsitektur LSTM untuk membangun landasan teoretis yang kuat.

2. Pengumpulan dan Pra-pemrosesan Data:

Tahap ini berfokus pada akuisisi data historis harga emisi karbon harian yang bersumber dari platform *investing.com*. Data mentah tersebut kemudian melalui proses persiapan yang krusial, meliputi penanganan data yang hilang, standardisasi format, dan normalisasi data ke dalam rentang $[0, 1]$ menggunakan *MinMaxScaler* agar siap untuk diproses oleh model.

3. Perancangan Arsitektur Model:

Pada tahap ini, dilakukan perancangan empat arsitektur peramalan yang akan diuji. Keempat arsitektur tersebut adalah model Prophet tunggal, model LSTM tunggal, model hybrid Prophet-LSTM berbasis fitur, dan model hybrid Prophet-LSTM berbasis *residual learning*.

4. Pelatihan dan Pengujian Model:

Dataset yang telah diproses kemudian dibagi menjadi data latih (Januari 2012 - Maret 2023) dan data uji (April 2023 - Maret 2025). Setiap model dilatih menggunakan data latih untuk mempelajari pola historis, lalu diuji kemampuannya dalam melakukan prediksi pada data uji yang belum pernah dilihat sebelumnya.

5. Evaluasi Kinerja:

Kinerja prediksi dari setiap model dievaluasi secara kuantitatif. Tahap ini menggunakan tiga metrik evaluasi standar, yaitu *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Error* (MAE), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), untuk mengukur tingkat akurasi dan kesalahan prediksi.

6. Analisis Hasil dan Penarikan Kesimpulan:

Tahap terakhir adalah menganalisis hasil evaluasi dari keempat model secara komparatif. Hasil analisis ini diinterpretasikan untuk menentukan arsitektur mana yang paling unggul dan mengapa. Berdasarkan temuan tersebut, kesimpulan penelitian ditarik dan dirumuskan saran untuk pengembangan penelitian di masa mendatang.

7. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Tahap akhir dari seluruh rangkaian penelitian adalah penyusunan laporan yang mendokumentasikan setiap tahapan secara sistematis. Penulisan dilakukan mengikuti format dan kaidah penulisan ilmiah yang berlaku untuk menghasilkan sebuah buku tugas akhir yang komprehensif dan koheren, mulai dari perumusan masalah, landasan teori, metodologi, hingga analisis hasil dan kesimpulan.

1.6 Jadwal Pelaksanaan

Pelaksanaan tugas akhir ini direncanakan akan berlangsung selama enam bulan. Rincian jadwal kegiatan untuk setiap tahapan penelitian dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1.6.1 Jadwal Kegiatan

No.	Deskripsi Tahapan	Bulan 1	Bulan 2	Bulan 3	Bulan 4	Bulan 5	Bulan 6
1	Studi Literatur						
2	Pengumpulan Data						
3	Perancangan Model						
4	Pengujian Model						

5	Evaluasi Model						
6	Analisis Hasil						
7	Penyusunan Laporan/Buku TA						