

PREDIKSI EMISI KARBON CO₂ MENGGUNAKAN LSTM

SKRIPSI

Oleh:

**WILBERT LOUIS
NIM. 221130595
NICHOLAS LAWRENCE
NIM. 221130137**



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS INFORMATIKA
UNIVERSITAS MIKROSKIL
MEDAN
2026**

CO₂ CARBON EMISSION PREDICTION USING LSTM

UNDERGRADUATE THESIS

By:

**WILBERT LOUIS
NIM. 221130595
NICHOLAS LAWRENCE
NIM. 221130137**



**UNDERGRADUATE PROGRAM OF INFORMATION TECHNOLOGY
FACULTY OF INFORMATICS
UNIVERSITAS MIKROSKIL
MEDAN
2026**

LEMBARAN PENGESAHAN
PREDIKSI EMISI KARBON CO₂ MENGGUNAKAN LSTM

SKRIPSI

Diajukan untuk Melengkapi Persyaratan Guna
Mendapatkan Gelar Sarjana
Program Studi S-1 Teknologi Informasi

Oleh:

WILBERT LOUIS
NIM. 221130595
NICHOLAS LAWRENCE
NIM. 221130137

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing I,



Wulan Sri Lestari, S.Kom., M.Kom.

Dosen Pembimbing II,



Mustika Ulina, S.Kom., M.Kom.

Medan, 28 Agustus 2026
Diketahui dan Disahkan Oleh:

Ketua Program Studi
S-1 Teknologi Informasi



Mustika Ulina, S.Kom., M.Kom.

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang membuat pernyataan ini adalah mahasiswa Program Studi S-1 Teknologi Informasi Universitas Mikroskil Medan dengan identitas mahasiswa sebagai berikut:

Nama : Wilbert Louis

NIM : 221130595

Saya telah melaksanakan penelitian dan penulisan Skripsi dengan judul dan tempat penelitian sebagai berikut:

Judul Skripsi : Prediksi Emisi Karbon CO₂ Menggunakan LSTM

Tempat Penelitian : -

Alamat Tempat Penelitian : -

No. Telp. Tempat Penelitian : -

Sehubungan dengan Skripsi tersebut, dengan ini saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa penelitian dan penulisan Skripsi tersebut merupakan hasil karya saya sendiri (tidak menyuruh orang lain yang mengerjakannya) dan semua sumber, baik yang dikutip maupun dirujuk, telah saya nyatakan dengan benar. Bila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa bukan saya yang mengerjakannya (membuatnya), maka saya bersedia dikenakan sanksi yang telah ditetapkan oleh Universitas Mikroskil Medan, yakni pencabutan ijazah yang telah saya terima dan ijazah tersebut dinyatakan tidak sah.

Selain itu, demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mikroskil Medan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right) atas Skripsi saya beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak ini, Universitas Mikroskil Medan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya, secara keseluruhan atau hanya sebagian atau hanya ringkasannya saja dalam bentuk format tercetak dan/atau elektronik, selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Menyatakan juga bahwa saya akan mempertahankan hak eksklusif saya untuk menggunakan seluruh atau sebagian isi Skripsi saya guna pengembangan karya di masa depan, misalnya dalam bentuk artikel, buku, ataupun perangkat lunak/sistem informasi.

Demikian pernyataan ini saya perbuat dengan sungguh-sungguh, dalam keadaan sadar dan tanpa ada tekanan dari pihak manapun.

Medan, 4 Agustus 2026

Saya yang membuat pernyataan,



Wilbert Louis

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang membuat pernyataan ini adalah mahasiswa Program Studi S-1 Teknologi Informasi Universitas Mikroskil Medan dengan identitas mahasiswa sebagai berikut:

Nama : Nicholas Lawrence

NIM : 221130137

Saya telah melaksanakan penelitian dan penulisan Skripsi dengan judul dan tempat penelitian sebagai berikut:

Judul Skripsi : Prediksi Emisi Karbon CO₂ Menggunakan LSTM

Tempat Penelitian : -

Alamat Tempat Penelitian : -

No. Telp. Tempat Penelitian : -

Sehubungan dengan Skripsi tersebut, dengan ini saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa penelitian dan penulisan Skripsi tersebut merupakan hasil karya saya sendiri (tidak menyuruh orang lain yang mengerjakannya) dan semua sumber, baik yang dikutip maupun dirujuk, telah saya nyatakan dengan benar. Bila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa bukan saya yang mengerjakannya (membuatnya), maka saya bersedia dikenakan sanksi yang telah ditetapkan oleh Universitas Mikroskil Medan, yakni pencabutan ijazah yang telah saya terima dan ijazah tersebut dinyatakan tidak sah.

Selain itu, demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mikroskil Medan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right) atas Skripsi saya beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak ini, Universitas Mikroskil Medan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya, secara keseluruhan atau hanya sebagian atau hanya ringkasannya saja dalam bentuk format tercetak dan/atau elektronik, selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Menyatakan juga bahwa saya akan mempertahankan hak eksklusif saya untuk menggunakan seluruh atau sebagian isi Skripsi saya guna pengembangan karya di masa depan, misalnya dalam bentuk artikel, buku, ataupun perangkat lunak/sistem informasi.

Demikian pernyataan ini saya perbuat dengan sungguh-sungguh, dalam keadaan sadar dan tanpa ada tekanan dari pihak manapun.

Medan, 4 Agustus 2026

Saya yang membuat pernyataan,



Nicholas Lawrence

PREDIKSI EMISI KARBON CO₂ MENGGUNAKAN LSTM

Abstrak

Peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂) perlu dipantau karena berkaitan dengan perubahan iklim dan keberlanjutan lingkungan. Penelitian ini bertujuan membangun model Long Short-Term Memory (LSTM) untuk memprediksi emisi karbon CO₂ berdasarkan pola data historis. Data diperoleh dari Our World in Data dan dibatasi pada periode 1970–2024. Setelah proses penyaringan, data yang digunakan berjumlah 11.586 baris dari 216 entitas. Delapan fitur dipilih menggunakan Recursive Feature Elimination (RFE), kemudian model menggunakan sepuluh pengamatan sebelumnya untuk memprediksi satu nilai CO₂ berikutnya. Pengujian dilakukan menggunakan skema pembagian data 70:30 dan 80:20 serta sembilan kombinasi epoch dan batch size. Kombinasi terbaik adalah 20 epoch dan batch size 32. Setelah koreksi bias, skema 80:20 memberikan hasil yang lebih konsisten dengan MAE 31,486, RMSE 216,885, R² 0,993112, dan MAPE 17,642%. Pada entitas World tahun 2015–2024, skema tersebut menghasilkan MAPE 4,225%, sedangkan recursive backtesting menghasilkan MAPE 7,455%. Proyeksi World menunjukkan penurunan emisi sekitar 5,6% dari tahun 2025 hingga 2034. Hasil ini menunjukkan bahwa LSTM dapat menggambarkan pola emisi historis, tetapi proyeksi tetap perlu dipahami sesuai asumsi dan keterbatasan model.

Kata kunci: *emisi karbon CO₂, LSTM, deret waktu, prediksi, pembelajaran mendalam*

Abstract

Carbon dioxide (CO₂) emissions are closely related to climate change and environmental sustainability. This study aims to develop a Long Short-Term Memory (LSTM) model to predict CO₂ emissions from historical data patterns. The data were obtained from Our World in Data and limited to 1970–2024. After filtering, the modeling data consisted of 11,586 records from 216 entities. Eight features were selected using Recursive Feature Elimination (RFE), while ten previous observations were used to predict the next CO₂ value. The model was evaluated using 70:30 and 80:20 data-splitting schemes and nine combinations of epochs and batch sizes. The best combination was 20 epochs and a batch size of 32. After bias correction, the 80:20 scheme produced more consistent results, with an MAE of 31.486, RMSE of 216.885, R² of 0.993112, and MAPE of 17.642%. For the World entity from 2015 to 2024, this scheme achieved a MAPE of 4.225%, while recursive backtesting produced 7.455%. The World projection indicated an emission decline of approximately 5.6% from 2025 to 2034. These results show that LSTM can represent historical emission patterns, although the projection should be interpreted according to the model assumptions and limitations.

Keywords: *CO₂ emissions, LSTM, time series, prediction, deep learning*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala kasih, karunia, berkat, serta penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Prediksi Emisi Karbon CO₂ Menggunakan LSTM” dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Program Studi S-1 Teknologi Informasi, Fakultas Informatika, Universitas Mikroskil Medan.

Penyusunan skripsi ini dilakukan karena penulis ingin mengembangkan model yang dapat memprediksi emisi karbon CO₂ berdasarkan data historis menggunakan metode Long Short-Term Memory atau LSTM. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai perkembangan emisi karbon pada masa mendatang serta menjadi bahan pendukung dalam memahami pola perubahan emisi karbon berdasarkan data yang digunakan.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis memperoleh banyak bimbingan, dukungan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Wulan Sri Lestari, S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu, memberikan arahan, masukan, serta bimbingan dengan penuh kesabaran selama proses penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Mustika Ulina, S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, saran, motivasi, dan perhatian sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik, serta selaku Ketua Program Studi S-1 Teknologi Informasi Fakultas Informatika Universitas Mikroskil Medan.
3. Bapak Hardy, S.Kom., M.Sc., Ph.D., selaku Rektor Universitas Mikroskil Medan.
4. Bapak Sunaryo Winardi, S.Kom., M.T., selaku Dekan Fakultas Informatika Universitas Mikroskil Medan.
5. Ibu Mustika Ulina, S.Kom., M.Kom., selaku Ketua Program Studi S-1 Teknologi Informasi Fakultas Informatika Universitas Mikroskil Medan.
6. Seluruh dosen dan staf Fakultas Informatika Universitas Mikroskil Medan yang telah memberikan ilmu, pengalaman, serta pelayanan yang baik selama penulis menempuh pendidikan.

7. Kedua orang tua, keluarga, dan seluruh kerabat yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, semangat, serta dukungan moral maupun material kepada penulis selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini selesai.
8. Teman-teman seperjuangan Program Studi S-1 Teknologi Informasi Universitas Mikroskil yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan bantuan selama proses penyusunan skripsi.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan dan dukungan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sebagai bahan perbaikan pada masa yang akan datang. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang prediksi emisi karbon menggunakan metode LSTM, serta bagi pembaca dan pihak-pihak yang membutuhkan.

Medan, 4 Agustus 2026

Penulis,

Wilbert Louis

Nicholas Lawrence

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup	2
BAB II KAJIAN LITERATUR.....	3
2.1 Perubahan Iklim dan Emisi Karbon.....	4
2.1.1 Sumber Emisi Karbon	5
2.1.2 Dampak Emisi Karbon terhadap Lingkungan.....	5
2.2 Data Deret Waktu (<i>Time Series</i>).....	6
2.2.1 Karakteristik Data <i>Time Series</i>	6
2.2.2 Contoh Pola Data <i>Time Series</i>	7
2.2.3 Relevansi <i>Time Series</i> dalam Prediksi Emisi Karbon	8
2.2.4 Metode Pemodelan <i>Time Series</i>	8
2.3 <i>Long Short-Term Memory</i> (LSTM)	9
2.3.1 Arsitektur LSTM.....	10
2.3.2 Mekanisme Kerja LSTM.....	11
2.3.3 <i>Hyperparameter</i> pada LSTM.....	12
2.3.4 Kelebihan LSTM.....	13
2.4 <i>Preprocessing</i> Data.....	14
2.4.1 <i>Cleaning data</i>	15
2.4.2 Normalisasi Data	16
2.4.3 Transformasi Data	17
2.4.4 Dampak <i>Preprocessing</i> terhadap Model	18
2.5 Pembagian Data	18

2.6 Evaluasi Model	19
2.6.1 <i>Mean Absolute Error</i> (MAE)	20
2.6.2 <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE)	21
2.6.3 <i>Mean Absolute Percentage Error</i> (MAPE).....	21
2.6.4 Koefisien Determinasi (R^2)	21
2.7 <i>Dataset Our World in Data</i>	22
2.7.1 Karakteristik <i>Dataset</i>	22
2.7.2 Alasan Pemilihan <i>Dataset</i>	23
2.8 Kerangka Konseptual.....	23
BAB III TAHAPAN PELAKSANAAN	27
3.1 Pengumpulan Data.....	29
3.2 Analisis Proses	38
3.2.1 Penyaringan Data dan Pemilihan Fitur.....	40
3.2.2 Pembagian Temporal, <i>Preprocessing</i> , dan Pembentukan <i>Sequence</i>	42
3.2.3 Pembangunan Model Prediksi Menggunakan LSTM	47
3.2.4 Evaluasi Model.....	52
3.3 Perancangan Visualisasi <i>Output</i>	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	57
4.1 Hasil	57
4.1.1 Hasil Pengumpulan dan Penyaringan Data	57
4.1.2 Hasil Pemilihan Fitur	58
4.1.3 Hasil Pembagian Temporal, <i>Preprocessing</i> , dan Pembentukan <i>Sequence</i>	61
4.1.4 Hasil Pembangunan dan Pengujian Model LSTM.....	66
4.2 Pembahasan	75
4.2.1 Evaluasi Model.....	75
4.2.2 Prediksi, <i>Recursive backtesting</i> , dan Proyeksi	79
BAB V PENUTUP	86
5.1 Kesimpulan	86
5.2 Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	88
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	90
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur <i>Long Short-Term Memory</i> (LSTM) [19]	10
Gambar 3.1 Diagram Tahapan Prediksi Emisi Karbon CO ₂ Menggunakan LSTM.....	39
Gambar 3.2 Tahapan <i>Preprocessing</i> Data per Entitas.....	44
Gambar 3.3 Arsitektur Model LSTM untuk Prediksi Emisi karbon CO ₂	48
Gambar 3.4 Tahapan Pengujian dan Prediksi Model	55
Gambar 4.1 Potongan Kode Penyaringan Entitas, Nilai Target, dan Kelengkapan Fitur ...	57
Gambar 4.2 Potongan Kode Penyiapan Data untuk Pemilihan Fitur	59
Gambar 4.3 Potongan Kode RFE dan Penyimpanan Fitur Terpilih	59
Gambar 4.4 Potongan Kode Penentuan Periode <i>Fit</i> , <i>Validation</i> , dan <i>Testing</i>	61
Gambar 4.5 Potongan Kode Penambahan Konteks <i>Validation</i>	62
Gambar 4.6 Potongan Kode Penambahan Konteks <i>Testing</i>	62
Gambar 4.7 Potongan Kode Pengisian Nilai Kosong per Entitas	63
Gambar 4.8 Potongan Kode Pembatasan Nilai Ekstrem dengan IQR.....	64
Gambar 4.9 Potongan Kode Normalisasi dan Penyimpanan Parameter per Entitas	64
Gambar 4.10 Potongan Kode Pembentukan <i>Sequence</i> per Entitas	65
Gambar 4.11 Potongan Kode Masukan LSTM dan Representasi Entitas	67
Gambar 4.12 Potongan Kode Lapisan <i>Dense</i> , <i>Dropout</i> , dan Kompilasi Model	67
Gambar 4.13 Potongan Kode Pemilihan Konfigurasi Terbaik.....	69
Gambar 4.14 Hasil Pengujian 9 Kombinasi <i>Epoch</i> dan <i>Batch size</i>	71
Gambar 4.15 MSE <i>Training</i> dan <i>Validation</i> Skema 70:30	72
Gambar 4.16 MAE <i>Training</i> dan <i>Validation</i> Skema 70:30.....	72
Gambar 4.17 MSE <i>Training</i> dan <i>Validation</i> Skema 80:20	73
Gambar 4.18 MAE <i>Training</i> dan <i>Validation</i> Skema 80:20.....	74
Gambar 4.19 Nilai Aktual dan Prediksi CO ₂ <i>World</i> Tahun 2015–2024.....	79
Gambar 4.20 Prediksi Emisi karbon CO ₂ <i>World</i> Tahun 2025–2034.....	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sumber Utama Emisi Karbon Global [3]	5
Tabel 2.2 Tren Emisi karbon CO ₂ Global Tahun 2019–2024 [3].....	7
Tabel 3.1 Karakteristik Atribut <i>Dataset Our World in Data CO₂ and Greenhouse Gas Emissions</i>	30
Tabel 3.2 Sampel Data CO ₂ <i>World</i> Tahun 2015–2024.....	38
Tabel 3.3 Aturan Penyiapan dan <i>Preprocessing</i> Data.....	41
Tabel 3.4 Penerapan Normalisasi per Entitas	46
Tabel 3.5 Struktur <i>Sequence</i> Masukan Model.....	47
Tabel 3.6 Struktur Dua Masukan Model Prediksi	49
Tabel 3.7 Arsitektur Model Prediksi	50
Tabel 3.8 Skenario Pengujian <i>Epoch</i> dan <i>Batch size</i>	52
Tabel 3.9 Keluaran Penelitian dan Bentuk Penyajian	56
Tabel 4.1 Delapan Fitur Hasil RFE	60
Tabel 4.2 Periode dan Jumlah <i>Sequence</i> pada Dua Skema	66
Tabel 4.3 Hasil Pengujian <i>Epoch</i> dan <i>Batch size</i>	69
Tabel 4.4 Perbandingan Konfigurasi Model pada Lingkungan Pengujian yang Sama	70
Tabel 4.5 Metrik Model pada Skala Normalisasi per Entitas.....	75
Tabel 4.6 Hasil Evaluasi Agregat pada Skala Asli CO ₂	76
Tabel 4.7 Hasil Evaluasi Koreksi Indonesia dan <i>World</i>	77
Tabel 4.8 Nilai Aktual dan Prediksi CO ₂ <i>World</i> Tahun 2015–2024	80
Tabel 4.9 Hasil <i>Recursive backtesting</i> <i>World</i> Tahun 2015–2024	81
Tabel 4.10 Prediksi CO ₂ <i>World</i> Tahun 2025–2034	82