

PEMODELAN KARBON DIOKSIDA NEGARA DI ASEAN MENGUNAKAN REGRESI TERBOBOTI GEOGRAFIS DAN TEMPORAL

NABIL NAUFAL



**PROGRAM STUDI STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Pemodelan Karbon Dioksida Negara di ASEAN Menggunakan Regresi Terboboti Geografis dan Temporal” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2025

Nabil Naufal
NIM. G1401211008

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRAK

NABIL NAUFAL. Pemodelan Karbon Dioksida Negara di ASEAN Menggunakan Regresi Terboboti Geografis dan Temporal. Dibimbing oleh ANIK DJURAIHAH, YENNI ANGRAINI, dan ALFA NUGRAHA PRADANA.

Karbon dioksida (CO₂) merupakan komponen utama gas rumah kaca yang paling berkontribusi terhadap pemanasan global akibat aktivitas manusia. Emisi CO₂ di kawasan Asia Tenggara (ASEAN) menunjukkan tren peningkatan seiring dengan pertumbuhan ekonomi, urbanisasi, dan ketergantungan terhadap energi fosil. Keragaman kondisi sosial, ekonomi, dan lingkungan antar negara menyebabkan hubungan antara emisi CO₂ dan faktor-faktor pemicunya tidak seragam secara geografis maupun temporal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika spasial-temporal tersebut menggunakan metode Regresi Terboboti Geografis dan Temporal (RTGT). Data yang digunakan mencakup CO₂ density (EDGAR), NDVI (MODIS), curah hujan (ERA5), indikator ekonomi & demografi (World Bank), serta energi (EMBER) untuk periode 2018–2023. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebelum 2020, pertumbuhan ekonomi dan konsumsi listrik menjadi faktor utama peningkatan emisi. Namun setelah pandemi COVID-19, faktor lingkungan dan energi seperti NDVI dan ketergantungan bahan bakar fosil mulai berperan lebih besar di beberapa negara. Model RTGT terbaik menggunakan fungsi kernel *bisquare* dan lebar jendela adaptif, dengan nilai R² sebesar 0,99. Pergeseran pendorong emisi dan adanya perbedaan pola antar negara ini membuktikan bahwa setiap wilayah memiliki profil risiko emisi yang unik dan dinamis. Temuan ini menegaskan perlunya kebijakan mitigasi yang adaptif terhadap dinamika spasial dan temporal, serta pentingnya kolaborasi regional untuk mengatasi tantangan emisi di ASEAN.

Kata kunci: ASEAN, emisi CO₂, NDVI, perubahan iklim, RTGT.

ABSTRACT

NABIL NAUFAL. Modelling Carbon Dioxide Emissions in ASEAN Countries Using Geographically and Temporally Weighted Regression. Supervised by ANIK DJURAIDAH, YENNI ANGRAINI, and ALFA NUGRAHA PRADANA.

Carbon dioxide (CO₂) is the main greenhouse gas and the largest contributor to global warming driven by human activities. In the Southeast Asian (ASEAN) region, CO₂ emissions exhibit an increasing trend, driven by economic growth, urbanization, and reliance on fossil fuels. The diverse social, economic, and environmental conditions across countries lead to a spatially and temporally heterogeneous relationship between CO₂ emissions and their determinants. This research analyzes these spatio-temporal dynamics using the Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR) method. The data used include CO₂ density from EDGAR, NDVI from MODIS, precipitation from ERA5, economic and demographic indicators from the World Bank, and energy indicators from EMBER for the period 2018–2023. The analysis reveals that pre-2020, economic growth and electricity consumption were the primary drivers of increased emissions. However, post-pandemic, environmental and energy factors such as NDVI and fossil fuel dependency became more significant in several countries. The optimal GTWR model, which utilized a bisquare kernel function and an adaptive bandwidth, achieved an R² value of 0.99. This shift in emission drivers and the differing patterns among countries demonstrate that each region possesses a unique and dynamic emission risk profile. These findings underscore the need for mitigation policies adaptive to spatio-temporal dynamics, as well as the importance of regional collaboration to address emission challenges in ASEAN.

Keywords: ASEAN, climate change, CO₂ emissions, GTWR, NDVI



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

PEMODELAN KARBON DIOKSIDA NEGARA DI ASEAN MENGUNAKAN REGRESI TERBOBOTI GEOGRAFIS DAN TEMPORAL

NABIL NAUFAL

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Statistika dan Sains Data

**PROGRAM STUDI STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Skripsi : Pemodelan Karbon Dioksida Negara di ASEAN Menggunakan
Regresi Terboboti Geografis dan Temporal

Nama : Nabil Naufal
NIM : G1401211008

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Anik Djuraidah, M.S.



Pembimbing 2:
Dr. Yenni Angraini, S.Si., M.Si.



Pembimbing 3:
Alfa Nugraha Pradana, S.Komp., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Bagus Sartono, S.Si., M.Si.
NIP 197804112005011002



Tanggal Ujian:
30 Juni 2025

Tanggal Lulus:



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Desember 2024 sampai bulan Mei 2025 ini ialah Analisis Spasial Temporal, dengan judul “Pemodelan Karbon Dioksida Negara di ASEAN Menggunakan Regresi Terboboti Geografis dan Temporal”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Ibu Prof. Dr. Ir. Anik Djuraidah, M.S., Ibu Dr. Yenni Angraini, S.Si., M.Si., dan Bapak Alfa Nugraha Prada, S.Komp., M.Si. yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Ibu Dr. Utami Dyah Safitri, S.Si., M.Si. selaku penguji luar komisi pembimbing, Bapak Prof. Dr. Ir. I Made Sumertajaya, S.Si., M.Si. selaku moderator seminar hasil, dan Bapak Ir. Aam Alamudi, M.Si. selaku moderator seminar proposal. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Ibu Nia Kurniasih, Bapak Haer, Opik Taupik Akbar, Iman Miftahul Hoer, Rafi Setia Primadi, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah ini. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh sahabat dan teman-teman yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan semangat kepada penulis dalam penulisan karya ilmiah ini, khususnya teman-teman satu organisasi Analisis Data GSB periode 2023 dan 2024, serta teman-teman sekelompok Alhur Skuy. Penulis juga sangat berterima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas segala kebaikan, doa, dukungan, dan motivasi hingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2025

Nabil Naufal

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Regresi Terboboti Geografis dan Temporal (RTGT)	3
III METODE.....	6
3.1 Data	6
3.2 Metode Analisis Data	6
IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	10
4.1 Pemrosesan Data	10
4.2 Eksplorasi Data	10
4.3 Pemeriksaan Multikolinearitas	14
4.4 Uji Kehomogenan Ragam	15
4.5 Regresi Terboboti Geografis dan Temporal	16
V SIMPULAN DAN SARAN	22
5.1 Simpulan	22
5.2 Saran	22
DAFTAR PUSTAKA.....	23
LAMPIRAN	27
RIWAYAT HIDUP	29

DAFTAR TABEL

1	Daftar peubah yang digunakan	6
2	Perbandingan nilai korelasi peubah CO ₂ <i>density</i> dan Total CO ₂ terhadap peubah penjas yang digunakan	10
3	Nilai VIF pada setiap peubah penjas sebelum penanganan	15
4	Nilai VIF pada setiap peubah penjas setelah penanganan	15
5	Uji <i>Breusch Pagan</i>	15
6	Perbandingan konfigurasi model RTGT	16

DAFTAR GAMBAR

1	Ilustrasi jarak spatial-temporal (Huang <i>et al.</i> 2010)	4
2	Diagram tahapan analisis data	9
3	Tren CO ₂ <i>density</i> di negara Kawasan ASEAN periode 2018-2023	11
4	Dinamika temporal CO ₂ <i>density</i> negara di ASEAN dengan skala yang distandardisasi per masing-masing negara	12
5	Matriks korelasi antar peubah yang digunakan	14
6	Peta signifikansi peubah tahun 2018	17
7	Peta signifikansi peubah tahun 2019	17
8	Peta signifikansi peubah tahun 2020	19
9	Peta signifikansi peubah tahun 2021	20
10	Peta signifikansi peubah tahun 2022	20
11	Peta signifikansi peubah tahun 2023	21

DAFTAR LAMPIRAN

1	Dugaan koefisien model RTGT	27
---	-----------------------------	----

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.