



PERAMALAN BEBAN EMISI KARBON DIOKSIDA (CO₂) SEKTOR TRANSPORTASI PROVINSI GORONTALO BERBASIS ANALISIS DERET WAKTU

Safira Putri H. Malik¹, Iswan Dunggio^{2,*}, dan Sukirman Rahim³

¹²³Program Studi Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Pascasarjana, Universitas Negeri Gorontalo
Jalan Jendral Sudirman No. 6, 96128, Kota Gorontalo

*Email Korespondensi: iswan@ung.ac.id

ABSTRACT

The land transportation sector has been identified as one of the largest anthropogenic contributors to greenhouse gas emissions in Indonesia, with its growth strongly correlated with the pace of economic development and urbanization. Gorontalo Province, a rapidly developing region in Sulawesi, is experiencing a significant increase in private vehicle ownership, in line with rising GRDP. This situation presents a strategic dilemma for the local government, balancing economic growth ambitions with the national commitment to reduce carbon emissions in line with the NDC targets. This study aims to analyze the historical trend of motorized vehicle growth in Gorontalo Province, validate the reliability of statistical forecasting models using the Classical Assumption Test, and project the number of vehicles and CO₂ emission loads until 2030 as a basis for formulating data-driven mitigation policies. This article applies a quantitative approach using secondary time-series data from 2017 to 2024 sourced from Statistics Indonesia (BPS). The analysis is conducted using a Simple Linear Regression model (trend model) for growth estimation, which is rigorously validated through normality tests (Shapiro-Wilk) and autocorrelation tests (Durbin-Watson) to ensure unbiased parameters. The conversion of vehicle activity data into emission loads was performed using the IPCC Tier 1 method. Statistical analysis showed that the time trend had a highly significant effect on vehicle growth (value = 0.002; R² = 0.813), with the model valid, free of autocorrelation (DW = 1.915), and having normally distributed residuals. Based on this model, the vehicle fleet in Gorontalo is projected to grow by an average of 50,578 units per year, reaching a total of 886,137 units in 2030. Consequently, the CO₂ emission load is predicted to surge from 395,082 tons in 2024 to 560,649 tons in 2030, representing a 41.91% increase. These findings indicate that Gorontalo's transportation sector is on an unsustainable growth trajectory. Without significant policy intervention, rising emissions will hinder the achievement of regional environmental targets.

Keywords: CO₂ Emissions, Transportation Forecasting, Linear Regression, IPCC Tier 1

ABSTRAK

Sektor transportasi darat telah teridentifikasi sebagai salah satu kontributor antropogenik terbesar terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia, yang pertumbuhannya sangat berkorelasi dengan laju pembangunan ekonomi dan urbanisasi. Provinsi Gorontalo, sebagai wilayah yang sedang berkembang pesat di Sulawesi, menghadapi fenomena peningkatan kepemilikan kendaraan pribadi yang signifikan seiring dengan kenaikan PDRB. Situasi ini menghadirkan dilema strategis bagi pemerintah daerah dalam menyeimbangkan ambisi pertumbuhan ekonomi dengan komitmen nasional untuk menurunkan emisi karbon sesuai target NDC. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren historis pertumbuhan kendaraan bermotor di Provinsi Gorontalo, memvalidasi keandalan model peramalan statistik menggunakan Uji Asumsi Klasik, serta memproyeksikan jumlah kendaraan dan beban emisi CO₂ hingga tahun 2030 sebagai landasan perumusan kebijakan mitigasi yang berbasis data. Artikel ini menerapkan pendekatan kuantitatif berbasis data sekunder deret waktu periode 2017-2024 yang bersumber dari BPS. Analisis dilakukan menggunakan model Regresi Linier Sederhana (Model Tren) untuk estimasi pertumbuhan, yang divalidasi secara ketat melalui uji normalitas (Shapiro-Wilk) dan uji autokorelasi (Durbin-Watson) untuk memastikan parameter yang tidak bias. Konversi data aktivitas kendaraan menjadi beban emisi dilakukan menggunakan metode *Tier 1* dari IPCC. Analisis statistik menunjukkan bahwa tren waktu berpengaruh sangat signifikan terhadap pertumbuhan kendaraan (value = 0,002; R² = 0,813), dengan model yang terbukti valid dan bebas dari autokorelasi (DW = 1,915) serta memiliki residual yang berdistribusi normal. Berdasarkan model ini, armada kendaraan di Gorontalo

diproyeksikan tumbuh rata-rata 50.578 unit per tahun, mencapai total 886.137 unit pada tahun 2030. Sebagai konsekuensinya, beban emisi CO₂ diprediksi melonjak dari 395.082 ton pada tahun 2024 menjadi 560.649 ton pada tahun 2030, mencerminkan kenaikan tajam sebesar 41,91%. Temuan ini mengindikasikan bahwa lintasan pertumbuhan sektor transportasi Gorontalo saat ini berada pada jalur yang tidak berkelanjutan (*unsustainable*). Tanpa intervensi kebijakan yang berarti, kenaikan emisi akan menghambat pencapaian target lingkungan daerah.

Kata Kunci: Emisi CO₂, Peramalan Transportasi, Regresi Linier, IPCC Tier 1

ARTICLE INFO

Submission received: 20 November 2025

Accepted: 30 December 2025

Revised: 15 December 2025

Published: 31 December 2025

Available on: <https://doi.org/10.32493/sm.v7i3.54882>

StatMat: Jurnal Statistika dan Matematika is licenced under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim telah menjadi isu global yang mendesak, dengan sektor transportasi diidentifikasi sebagai salah satu penyumbang emisi Gas Rumah Kaca (GRK) antropogenik terbesar. Di Indonesia, sektor energi termasuk transportasi menyumbang porsi signifikan terhadap total emisi nasional, yang mendorong pemerintah berkomitmen menurunkan emisi melalui dokumen *Nationally Determined Contribution* (NDC) (KLHK, 2021). Di tingkat regional, Provinsi Gorontalo menunjukkan tren pertumbuhan ekonomi yang konsisten, di mana pertumbuhan PDRB Sektor Transportasi seringkali melampaui laju ekonomi daerah secara umum. Namun, kemajuan ini membawa eksternalitas negatif berupa lonjakan kepemilikan kendaraan bermotor pribadi, baik sepeda motor maupun mobil penumpang, sebagaimana ditunjukkan data Badan Pusat Statistik (BPS). Fenomena ini berimplikasi langsung pada peningkatan konsumsi bahan bakar fosil dan beban emisi CO₂ regional.

Tantangan utama yang dihadapi pemerintah daerah adalah kurangnya integrasi antara perencanaan pembangunan ekonomi dan mitigasi lingkungan, yang seringkali disebabkan oleh ketiadaan data proyeksi yang akurat. Pembuat kebijakan memerlukan gambaran kuantitatif mengenai skenario masa depan (*business as usual*) jika tren kepemilikan kendaraan saat ini terus berlanjut tanpa intervensi. Oleh karena itu, permasalahan mendasar yang perlu dijawab dalam studi ini adalah seberapa signifikan pengaruh tren waktu terhadap pertumbuhan jumlah kendaraan di Gorontalo, bagaimana validitas statistik dari model peramalannya jika ditinjau dari uji asumsi klasik, serta berapa besar proyeksi jumlah kendaraan dan beban emisi CO₂ yang akan dihasilkan pada tahun 2030.

Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menyusun model peramalan

beban emisi CO₂ sektor transportasi darat di Provinsi Gorontalo yang terukur dan valid. Secara spesifik, studi ini diarahkan untuk menganalisis pola pertumbuhan historis kendaraan bermotor periode 2017-2024 dan membangun model Regresi Tren Linier yang telah divalidasi. Lebih jauh, penelitian ini akan mengestimasi total emisi CO₂ hingga tahun 2030 menggunakan faktor emisi standar, guna memberikan landasan empiris yang kokoh bagi perumusan strategi mitigasi perubahan iklim dan kebijakan transportasi berkelanjutan di tingkat daerah.

2. METODOLOGI

2.1 Sumber dan Jenis Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder kuantitatif dengan objek penelitian yang difokuskan pada kendaraan bermotor di Provinsi Gorontalo. Data yang digunakan berupa data deret waktu (*time series*) tahunan dari tahun 2017 hingga 2024 ($n=8$), di mana data tahun 2016 dieksklusi karena teridentifikasi sebagai *outlier* atau anomali data. Seluruh data bersumber dari publikasi "Provinsi Gorontalo Dalam Angka" dan statistik transportasi yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Gorontalo.

Terdapat dua variabel utama untuk analisis regresi. Variabel dependen (Y) adalah jumlah total kendaraan bermotor (unit), yang merupakan agregasi dari mobil penumpang, bus, truk, dan sepeda motor. Sedangkan variabel independen (X) yang digunakan adalah indeks waktu (t), di mana tahun 2017 ditetapkan sebagai indeks 1, tahun 2018 sebagai indeks 2, dan seterusnya hingga akhir periode pengamatan.

2.2 Teknik Analisis Data

Proses analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis menggunakan bantuan perangkat lunak statistik SPSS. Tahapan analisis terdiri dari empat langkah utama yang saling berkesinambungan:

a. Uji Regresi Linier Sederhana (Analisis Tren)

Analisis ini bertujuan untuk membentuk model matematis yang menggambarkan pola hubungan antara waktu dan jumlah kendaraan. Metode *Ordinary Least Squares* (OLS) digunakan untuk mengestimasi fungsi regresi tren linier dengan persamaan:

$$Y_t = \alpha + \beta t + \epsilon t \quad (1)$$

Di mana Y_t adalah estimasi jumlah kendaraan pada tahun ke- t , α adalah konstanta (nilai intersep), βt adalah koefisien regresi yang menunjukkan laju pertumbuhan rata-rata per tahun, dan ϵt adalah *error term*. Pengujian hipotesis dilakukan melalui

Uji t untuk menentukan signifikansi pengaruh variabel waktu terhadap pertumbuhan kendaraan dengan taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).

b. Uji Asumsi Klasik (Validasi Model)

Untuk memastikan bahwa model regresi yang dihasilkan bersifat BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*) dan layak digunakan untuk peramalan, dilakukan serangkaian uji asumsi klasik yang meliputi:

- 1) Uji Normalitas Residual: Menggunakan uji *Shapiro-Wilk* yang lebih sensitif dan akurat untuk ukuran sampel kecil ($n < 50$). Kriteria pengujian adalah jika nilai signifikansi (Sig.) $> 0,05$, maka residual model diasumsikan berdistribusi normal.
- 2) Uji Autokorelasi: Mengingat data yang digunakan adalah data deret waktu, uji autokorelasi menjadi krusial untuk mendeteksi adanya korelasi antara residual pada periode t dengan periode sebelumnya ($t-1$). Pengujian dilakukan menggunakan statistik *Durbin-Watson* (DW). Model dinyatakan bebas dari masalah autokorelasi jika nilai DW berada di sekitar angka 2, atau secara spesifik berada di antara batas atas (dU) dan $4 - dU$

c. Peramalan (*Forecasting*) Setelah model dinyatakan valid secara statistik, persamaan regresi digunakan untuk memproyeksikan jumlah kendaraan bermotor di masa depan. Nilai indeks waktu (t) untuk tahun 2025 hingga 2030 disubstitusikan ke dalam persamaan 2.1 untuk mendapatkan estimasi jumlah kendaraan (Y) pada tahun-tahun tersebut.

d. Estimasi Beban Emisi CO₂ Tahap akhir adalah mengonversi hasil peramalan jumlah kendaraan menjadi estimasi beban emisi karbon dioksida (CO₂). Perhitungan ini mengadopsi pendekatan *Tier 1* dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), di mana emisi dihitung berdasarkan aktivitas kendaraan dikalikan dengan faktor emisi. Karena keterbatasan data konsumsi bahan bakar spesifik, penelitian ini menggunakan faktor emisi rata-rata per unit kendaraan per tahun yang merujuk pada pedoman Ditjen PPKL KLHK (2018), yaitu:

- 1) Sepeda Motor : 018 ton CO₂/unit/tahun
- 2) Mobil Penumpang: 2,00 ton CO₂/unit/tahun
- 3) Bus/Truk : 6,00 ton CO₂/unit/tahun

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Tren Historis

Data historis menunjukkan fluktuasi pertumbuhan kendaraan bermotor di Provinsi Gorontalo.

Tabel 1. Total Kendaraan Bermotor Provinsi Gorontalo 2017-2024

Tahun	Mobil Penumpang	Bus	Truk	Motor	Jumlah
2017	14778	168	0	231608	246554
2018	16125	102	11656	128112	155995
2019	30713	349	25116	353936	410114
2020	30778	321	23757	362854	417710
2021	32518	330	25454	390829	449131
2022	36372	345	27959	426179	490855
2023	38395	339	29108	453660	521502
2024	40135	346	30141	482698	553320

Meskipun terdapat penurunan pencatatan pada tahun 2018, tren jangka panjang menunjukkan kenaikan yang konsisten. Sepeda motor mendominasi komposisi armada dengan proporsi rata-rata di atas 80%.

3.2 Hasil Analisis Regresi

Berdasarkan pengolahan data SPSS, diperoleh model regresi linier sederhana sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Analisis Regresi Linier Sederhana (*Coefficients*)

Model	Unstandardized B (Koefisien)	t	Sig.
(Constant)/ Intercept	178.074,214	3,21	0,018
Indeks Waktu (t)/ Slope	50.577,869	5,11	0,002

Analisis:

- Nilai *Slope* (β) sebesar 50.577,87 menunjukkan bahwa secara rata-rata, jumlah kendaraan di Gorontalo bertambah sebanyak 50.578 unit setiap tahunnya.
- Nilai Sig. sebesar 0,002 ($< 0,05$) menunjukkan bahwa variabel waktu berpengaruh sangat signifikan terhadap jumlah kendaraan.
- Nilai *R Square* sebesar 0,813 (dari tabel *Model Summary*) menunjukkan bahwa 81,3% variasi jumlah kendaraan dapat dijelaskan oleh tren waktu, sedangkan sisanya dipengaruhi faktor lain (ekonomi, kebijakan) yang tidak diteliti dalam model sederhana ini.

3.3 Uji Validitas Model (Asumsi Klasik)

Untuk memastikan model layak digunakan sebagai alat peramalan, dilakukan uji asumsi sebagai berikut:

- Uji Normalitas (*Shapiro-Wilk*) Hasil uji menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,551 . Karena nilai $0,551 > 0,05$, maka residual model berdistribusi Normal.
- Uji Autokorelasi (*Durbin-Watson*) Nilai *Durbin-Watson* (DW) yang diperoleh adalah 1,915 . Nilai ini sangat mendekati angka 2 dan berada di antara batas atas (dU) dan 4-dU , sehingga disimpulkan tidak terjadi autokorelasi. Model ini layak digunakan untuk data *time series*.

3.4 Proyeksi Jumlah Kendaraan dan Emisi (2025-2030)

Dengan menggunakan persamaan 2, dilakukan peramalan proyeksi jumlah kendaraan dan estimasi Emisi CO₂ hingga tahun 2030.

$$Y = 178.074 + 50.597(t) \quad (2)$$

Tabel 2. Proyeksi Jumlah Kendaraan dan Estimasi Emisi CO₂

Tahun	Indeks Waktu	Proyeksi Total Kendaraan (Unit)	Estimasi Emisi CO ₂ (Ton/Tahun)
2024	8	553.320	395.082
2025	9	633.248	447.850
2026	10	683.826	482.903
2027	11	734.404	517.957
2028	12	784.982	553.010
2029	13	835.560	557.080
2030	14	886.137	560.649

Hasil proyeksi menunjukkan bahwa pada tahun 2030, jumlah kendaraan bermotor di Gorontalo diperkirakan mencapai 886.137 unit. Hal ini berdampak pada estimasi emisi CO₂ yang mencapai 560.649 ton pada tahun 2030. Jika dibandingkan dengan tahun 2024 senilai 395.082 ton, terjadi kenaikan beban emisi sebesar 41,91% hanya dalam kurun waktu enam tahun.

3.5 Pembahasan

Kenaikan emisi sebesar hampir 42% dalam periode pendek menuju 2030 menjadi sinyal

peringatan (*warning sign*) bagi pemerintah daerah. Pertumbuhan ini didorong oleh ketergantungan masyarakat pada kendaraan pribadi akibat belum optimalnya layanan angkutan umum. Model regresi linier sederhana ini, meskipun valid secara statistik, memiliki asumsi *ceteris paribus* (faktor lain dianggap tetap). Dalam realitasnya, pertumbuhan ini bisa lebih tinggi jika pertumbuhan ekonomi Gorontalo melesat, atau bisa lebih rendah jika intervensi kebijakan diterapkan secara efektif.

Analisis yang lebih luas menunjukkan bahwa dinamika sektor lain turut mempengaruhi emisi. Misalnya, sektor pariwisata yang sedang berkembang, seperti di kawasan Pantai Kaisomaru, berpotensi meningkatkan volume lalu lintas pengunjung yang berkontribusi pada akumulasi emisi jika tidak dikelola dengan prinsip keberlanjutan (Toiyo et al., 2025). Selain itu, program pemberdayaan ekonomi yang berhasil meningkatkan kesejahteraan masyarakat, seperti pada petani kelapa, secara tidak langsung berkorelasi dengan peningkatan kemampuan daya beli kendaraan pribadi, yang pada gilirannya menambah beban emisi transportasi (Lasang et al., 2025).

Oleh karena itu, strategi mitigasi perubahan iklim di tingkat daerah perlu mengintegrasikan manajemen karbon yang komprehensif. Pemanfaatan data spasial untuk memantau perubahan penutupan lahan di daerah aliran sungai (DAS) menjadi sangat penting guna memastikan daya dukung lingkungan dalam menyerap emisi karbon tetap terjaga (Dunggio, 2024). Pendekatan berbasis data dan teknologi ini memungkinkan pemerintah daerah untuk menyeimbangkan kebijakan pengendalian jumlah kendaraan dengan strategi peningkatan kapasitas serapan karbon melalui pelestarian lingkungan.

Sementara itu, dominasi sepeda motor memberikan peluang unik bagi Gorontalo. Transisi ke sepeda motor listrik dapat menjadi strategi mitigasi yang paling efektif ("*Low Hanging Fruit*") dibandingkan fokus pada mobil listrik yang pasarnya masih kecil.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa terdapat tren pertumbuhan kendaraan bermotor yang positif dan signifikan secara statistik di Provinsi Gorontalo selama periode 2017-2024, dengan laju penambahan rata-rata mencapai 50.578 unit per tahun. Model Regresi Linier Sederhana yang dibangun terbukti valid dan memenuhi kaidah statistik (BLUE), ditandai dengan residual yang berdistribusi normal dan bebas dari autokorelasi, sehingga model ini layak digunakan sebagai instrumen peramalan yang andal. Berdasarkan proyeksi model tersebut, tanpa adanya intervensi kebijakan (*Business as Usual*), beban emisi CO₂ sektor transportasi darat di Gorontalo diperkirakan akan mengalami lonjakan tajam hingga 41,91% dari tahun 2024 hingga 2030, mencapai angka akumulatif sebesar 560.649 ton CO₂.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Gorontalo. (2024). *Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Kendaraan di Provinsi Gorontalo (unit)*. BPS Gorontalo.
- Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim (Ditjen PPKL). (2018). *Pedoman perhitungan emisi CO₂ sektor transportasi jalan*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Dunggio, I. (2024). Pemanfaatan data raster dalam menentukan perubahan penutupan lahan sub daerah aliran sungai (DAS) Biyonga Kabupaten Gorontalo. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 10(2). <https://doi.org/10.29303/jstl.v10i2.5062>
- Gujarati, D. N. (2021). *Essentials of econometrics* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Hadi, S. (2024). Analisis regresi data panel terhadap kualitas udara dan pertumbuhan ekonomi regional. *Jurnal Ilmu Lingkungan Terapan*, 15(2), 45-60.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, volume 2: Energy*. IPCC.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2021). *Dokumen nationally determined contribution (NDC) Indonesia*. KLHK.
- Lasang, S. S., Abdullah, S., & Dunggio, I. (2025). The effect of the ultra-micro economic empowerment program on the well-being of coconut farmers. *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan*, 12(1), 45-58.
- Listyawati, D., & Hartono, D. (2020). Kausalitas PDRB dan sektor transportasi di Pulau Jawa: Analisis model VAR. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, 18(1), 45-60. <https://doi.org/10.29259/jep.v18i1.9876>
- Makridakis, S., & Hibon, M. (1997). The M3-Competition: Results, conclusions and implications. *International Journal of Forecasting*, 13(4), 451–476. [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(97\)00044-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(97)00044-7)
- Oktaviani, R. (2021). Dampak PDRB dan kepadatan penduduk terhadap tingkat kepemilikan kendaraan pribadi di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, 20(1), 12-25.
- Sari, I. P., & Syarieff, R. (2023). Dampak laju pertumbuhan penduduk dan ekonomi terhadap kualitas udara perkotaan di Indonesia. *Jurnal Penelitian Lingkungan Hidup*, 14(3), 1-15.
- Sugiyanto, B. (2023). *Time series analysis for economic forecasting*. Penerbit Pustaka Nusantara.
- Tahir, M. (2020). Strategi mitigasi emisi CO₂ dari dominasi sepeda motor di kota metropolitan. *Jurnal Transportasi Indonesia*, 12(3), 88-105. <https://doi.org/10.22146/jti.v12i3.567>
- Toiyo, F. K., Yusuf, M., Usman, M. Z., Dunggio, I., & Hamidun, M. S. (2025). Dampak permasalahan lingkungan dari pengelolaan wisata Pantai Kaisamaru: Studi kasus Pantai Kaisamaru di Gorontalo. *J-CEKI: Jurnal Cendekia Ilmiah*, 4(2), 366–371. <https://doi.org/10.56799/jceki.v4i2.6438>
- Wibowo, A. S., & Susilo, B. (2022). Korelasi pertumbuhan kendaraan pribadi dengan tingkat polusi PM₁₀ di kota metropolitan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 25(1), 1-10. <https://doi.org/10.5614/j.tl.2022.25.1.1>