



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 5 Nomor 1 Tahun 2025 Page 277-292

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

Analisis Efisiensi Pengolahan Limbah dan Dampaknya Terhadap Emisi Karbon Di Berbagai Negara

Muhammad Fitra Rhomadon^{1✉}, Widyanto²

Universitas Bina Darma

Email: muhammadfitrar1512@gmail.com^{1✉}

Abstrak

Perubahan iklim telah menjadi isu global yang mendesak, dengan emisi karbon dari pengelolaan limbah sebagai salah satu kontributor signifikan. Banyak negara maju telah berhasil mengurangi emisi karbon melalui teknologi modern dan kebijakan keberlanjutan, sementara negara berkembang masih menghadapi tantangan dalam efisiensi pengelolaan limbah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi pengelolaan limbah dan dampaknya terhadap emisi karbon di berbagai negara. Metodologi yang digunakan mencakup eksplorasi data, pembersihan, rekayasa fitur, dan pemodelan statistik dengan pendekatan regresi polinomial. Data berasal dari 28 negara anggota OECD selama periode 2018-2020. Hasil penelitian menunjukkan bahwa negara dengan tingkat daur ulang dan insinerasi limbah yang tinggi cenderung memiliki emisi karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan negara yang bergantung pada landfilling. Selain itu, kebijakan dan teknologi memainkan peran penting dalam mengurangi emisi karbon. Penelitian ini menekankan pentingnya kolaborasi internasional dan kebijakan adaptif untuk mencapai pengelolaan limbah yang berkelanjutan secara global.

Kata kunci : *Pengelolaan Limbah, Emisi Karbon, Keberlanjutan, OECD, Regresi Polinomial.*

Abstract

Climate change has become a pressing global issue, with carbon emissions from waste management as a significant contributor. Many developed countries have successfully reduced carbon emissions through modern technologies and sustainable policies, while developing countries still face challenges in achieving waste management efficiency. This study aims to analyze the efficiency of waste management and its impact on carbon emissions across various countries. The methodology includes data exploration, cleaning, feature engineering, and statistical modeling with a polynomial regression approach. Data were sourced from 28 OECD member countries between 2018 and 2020. The findings reveal that countries with high recycling and waste incineration rates tend to have lower carbon emissions compared to those relying on landfilling. Additionally, policies and technologies play a crucial role in reducing carbon emissions. This research highlights the importance of international collaboration and adaptive policies to achieve sustainable waste management globally..

Keywords: *Waste Management, Carbon Emissions, Sustainability, OECD, Polynomial Regression.*

PENDAHULUAN

Perubahan iklim telah menjadi isu global yang mendesak, dengan dampaknya yang meluas pada lingkungan, ekonomi, dan kesejahteraan manusia. Salah satu penyumbang utama perubahan iklim adalah emisi karbon dioksida (CO₂), yang terus meningkat akibat aktivitas manusia, termasuk dalam pengelolaan limbah. Emisi gas rumah kaca dari sektor ini sering kali diabaikan, meskipun kontribusinya signifikan terhadap pemanasan global.

Seiring dengan pertumbuhan populasi dan urbanisasi, volume limbah yang dihasilkan manusia terus meningkat. Tantangan pengelolaan limbah menjadi semakin kompleks, khususnya di negara-negara berkembang yang menghadapi keterbatasan teknologi dan pendanaan. Ketidakefisienan dalam pengolahan limbah tidak hanya berkontribusi pada peningkatan emisi karbon, tetapi juga menimbulkan masalah kesehatan dan degradasi lingkungan.

Di sisi lain, beberapa negara maju telah berhasil mengembangkan teknologi dan kebijakan untuk mengelola limbah secara efisien. Mereka menggunakan pendekatan seperti daur ulang, pengomposan, insinerasi dengan pemanfaatan energi, dan teknologi anaerobic digestion (Gusty et al., 2024). Pendekatan ini tidak hanya mengurangi emisi karbon, tetapi juga menciptakan peluang ekonomi baru melalui pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Sebagai contoh, penelitian oleh Zulbaydah, 2024 menunjukkan bahwa penerapan teknologi anaerobic digestion di Eropa berhasil mengurangi emisi karbon hingga 30% dari sektor limbah organik. (Ammarnurhandyka et al., 2023)

Namun, tidak semua negara memiliki kemampuan yang sama dalam mengadopsi teknologi canggih. Di negara-negara berkembang, pembuangan limbah ke tempat

pembuangan akhir (TPA) tanpa pengolahan yang memadai masih menjadi praktik umum. Hal ini menghasilkan emisi metana, gas rumah kaca yang lebih berbahaya dibandingkan karbon dioksida, sehingga memperparah masalah lingkungan.[4] di Asia Tenggara menunjukkan bahwa pembuangan limbah di TPA menyumbang hingga 50% dari total emisi metana regional.

Pengelolaan limbah dan emisi CO₂ sangat penting dalam mencapai keberlanjutan lingkungan. Emisi karbon merupakan salah satu penyebab utama iklim global, tetapi emisi karbon terus mengalami kenaikan bahkan sampai mencapai 36,8 miliar ton pada tahun 2022. Salah satu penanganan yang dapat dilakukan adalah dengan pengelolaan sampah. Analisis ini akan membantu mengidentifikasi pola pengelolaan limbah (pembuangan, pembakaran, dan daur ulang) serta emisi CO₂ berdasarkan aktivitas produksi di berbagai negara.[6]

Efisiensi pengolahan limbah tidak hanya penting untuk mitigasi perubahan iklim, tetapi juga untuk menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan berkelanjutan [7]. Dengan meningkatkan efisiensi ini, negara-negara dapat mengurangi jejak karbon mereka, meningkatkan kualitas hidup masyarakat, dan melestarikan sumber daya alam[8].

Studi lintas negara mengenai pengelolaan limbah menunjukkan adanya variasi yang signifikan dalam kebijakan dan teknologi yang digunakan. Analisis terhadap praktik terbaik dari berbagai negara dapat memberikan wawasan berharga bagi negara-negara lain yang berupaya meningkatkan efisiensi pengolahan limbah mereka. Penelitian terbaru oleh Putri Azmi, 2024 (Millatie et al., 2023) juga menyoroti pentingnya pendidikan masyarakat dalam mendorong praktik daur ulang yang lebih baik, yang berdampak langsung pada pengurangan limbah yang berakhir di TPA.[9]

Dari analisis terhadap 28 negara anggota OECD, ditemukan perbedaan yang signifikan dalam rata-rata emisi karbon yang dihasilkan dari pengelolaan limbah. Latvia mencatatkan emisi karbon tertinggi, dengan rata-rata 102,57, yang sebagian besar disebabkan oleh ketergantungan pada landfill sebagai metode utama pembuangan limbah. Sebaliknya, negara-negara seperti Belanda dan Swedia mampu menekan emisi karbon secara signifikan, masing-masing hingga 7,28 dan 3,67. Prestasi ini menunjukkan keberhasilan penerapan teknologi modern dan kebijakan yang mendukung keberlanjutan [10] .

Namun, tantangan dalam pengelolaan limbah tidak hanya terbatas pada teknologi, tetapi juga melibatkan kebiasaan masyarakat. Di banyak negara, pembuangan limbah ke landfill masih menjadi praktik umum, terutama di wilayah dengan infrastruktur pengelolaan limbah yang kurang berkembang. Di sisi lain, negara-negara yang berhasil

memanfaatkan limbah sebagai sumber energi atau meningkatkan tingkat daur ulang menunjukkan potensi besar untuk menekan emisi karbon sekaligus menciptakan manfaat lingkungan dan ekonomi.

Selain itu, distribusi emisi karbon di negara-negara OECD menunjukkan bahwa negara-negara di Eropa Utara dan Barat cenderung lebih efisien dalam mengelola limbah, yang terlihat dari emisi karbon yang lebih rendah. Sebaliknya, negara-negara dengan ketergantungan tinggi pada landfill mencatatkan emisi karbon yang jauh lebih tinggi, memperburuk dampak lingkungan.[11]

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi bagaimana efisiensi pengolahan limbah dapat berkontribusi pada penurunan emisi karbon secara global. Dengan memahami hubungan ini, diharapkan dapat ditemukan solusi yang adaptif dan aplikatif untuk mendukung keberlanjutan lingkungan di berbagai konteks geografis dan ekonomi.

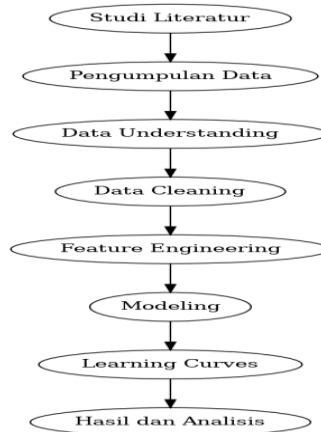
Pengelolaan limbah memiliki peran penting dalam mempengaruhi emisi CO₂ di berbagai negara, karena proses seperti pembakaran, penimbunan, dan pengolahan limbah menghasilkan emisi karbon dalam jumlah yang bervariasi.[12] Untuk mengurangi jejak karbon, setiap negara perlu memahami hubungan antara tipe pengelolaan limbah yang digunakan dengan emisi karbon yang dihasilkan, sehingga dapat menentukan metode yang paling efisien dan ramah lingkungan[13]. Dengan mengoptimalkan strategi pengelolaan limbah yang sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan masing-masing negara, diharapkan emisi karbon dapat diminimalkan, sekaligus mendukung keberlanjutan lingkungan secara global.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi bagaimana efisiensi pengolahan limbah dapat berkontribusi pada penurunan emisi karbon secara global. Dengan memahami hubungan ini, diharapkan dapat ditemukan solusi yang adaptif dan aplikatif untuk mendukung keberlanjutan lingkungan di berbagai konteks geografis dan ekonomi.

Melalui pendekatan yang terintegrasi, penelitian ini tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga pada kebijakan dan kolaborasi internasional. Hal ini penting untuk memastikan bahwa pengelolaan limbah yang efisien dapat diimplementasikan secara merata, sehingga dampak positifnya dapat dirasakan di seluruh dunia.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah pendekatan berbasis data dengan kombinasi teknik eksplorasi, pembersihan, rekayasa fitur, dan pemodelan statistik. Model terbaik (Polynomial Regression)[14] digunakan untuk memahami hubungan antara pengelolaan limbah dan emisi CO₂, serta memberikan rekomendasi kebijakan berbasis hasil analisis.



Gambar 1. Flowchat Tahapan Penelitian

2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memahami konsep dasar dan aplikasi terkait efisiensi pengelolaan limbah serta dampaknya terhadap emisi karbon. Literatur yang dianalisis meliputi[15]:

1. Statistical Five Summaries: Menemukan pola statistik dari data yang ada seperti nilai minimum, maksimum, kuartil, dan median.
2. Exploratory Data Analysis (EDA): Mengidentifikasi pola dan hubungan antar variabel.
3. Feature Engineering: Memodifikasi atau menciptakan fitur baru dari dataset untuk meningkatkan performa model.
4. Modeling: Melibatkan penggunaan regresi polinomial untuk memprediksi hubungan antara pengelolaan limbah dan emisi karbon.
5. Learning Curves: Analisis kurva pembelajaran untuk mengevaluasi performa model.

2.2 Pengumpulan Data

1. Data diambil dari website OECD yang mencakup 28 negara anggota OECD selama periode 2018-2020.
2. Dataset mencakup variabel seperti tingkat pembakaran limbah, emisi karbon, limbah ke TPA, limbah yang didaur ulang, produktivitas emisi karbon dan intensitas emisi karbon.
3. Data diolah menggunakan teknik eksplorasi dan pembersihan, termasuk:
4. Pengecekan Nilai Kosong: Tidak ditemukan nilai yang hilang pada dataset.
5. Penghapusan Data Duplikat: Data diperiksa untuk memastikan tidak ada duplikasi.

2.3 Tahapan Pengolahan Data

1. Data Understanding:

- a. Melakukan eksplorasi awal untuk memahami struktur dataset.
- b. Dataset dianalisis untuk memastikan kualitas dan kelengkapan data.

2. Data Cleaning:

- a. Menghapus outlier menggunakan metode Interquartile Range (IQR).
- b. Menggunakan pivot table untuk menyusun dataset lebih terstruktur.

3. Feature Engineering:

Menambahkan atribut wilayah (region) untuk analisis komparatif.

4. Modeling:

- a. Dibangun beberapa model prediksi, termasuk regresi polinomial sebagai model terbaik berdasarkan nilai Mean Squared Error (MSE) dan Root Mean Squared Error (RMSE).
- b. Membandingkan performa model lain seperti Random Forest dan AdaBoost Regression.

5. Learning Curves:

Menggunakan kurva pembelajaran untuk memastikan model tidak mengalami overfitting dan mampu menggeneralisasi dengan baik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari Hasil Penelitian dan pengolahan data di dapatkan pembahasan sebagai berikut
Data Understanding

Dataset ini berisi data dari 28 negara anggota OECD. Dataset ini memiliki 32 kolom dan 588 baris.

Tabel 1. Kolom Setelah Dilakukan Drop

REF_AREA	Nama singkatan negara atau wilayah yang di analisis
Reference Area	Nama asli negara atau wilayah yang di analisis
Measure	Jenis ukuran seperti "per kapita"
TIME_PERIOD	Tahun untuk data yang di catat
OBS_VALUE	Nilai pengukuran yang relevan seperti jumlah emisi co2 per unit

Dataset ini terdiri dari 588 baris dan 6 kolom, yang mencakup informasi wilayah referensi (REF_AREA dan Reference area), kategori pengukuran (Measure), satuan pengukuran (Unit of measure), tahun pengamatan (TIME_PERIOD), dan nilai observasi (OBS_VALUE). Semua data lengkap tanpa nilai yang hilang, dengan tipe data mencakup kategori (object) untuk wilayah, jenis, dan satuan pengukuran, serta numerik (int64 dan float64) untuk tahun dan nilai observasi. Dataset ini berpotensi dianalisis untuk melihat tren waktu berdasarkan tahun, distribusi pengukuran antar wilayah, dan hubungan antara

jenis pengukuran dengan nilai observasi.

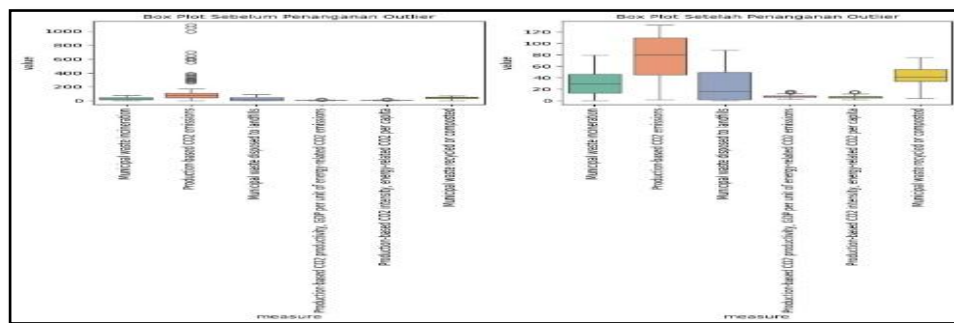
Data Cleaning

a. Check Missing Value

Tidak memiliki nilai kosong disemua kolom,menunjukkan kualitas data yang baik dan siap untuk analisis langsung tanpa membersihkan tambahan

b. Check Duplicate Data

Tidak memiliki duplikat data,menunjukkan kualitas data yang baik dan siap untuk analisis langsung tanpa pembersihan tambahan



Gambar 2. Check Outlier

Outlier perlu ditangani karena bisa mengganggu hasil analisis, membuat model regresi kurang akurat, dan meningkatkan risiko overfitting. Metode IQR digunakan karena sederhana, efektif, dan tidak terpengaruh oleh angka-angka yang sangat ekstrem, sehingga cocok untuk berbagai jenis data. Dengan cara ini, model seperti Linear Regression atau Random Forest bisa menghasilkan prediksi yang lebih akurat. dan bisa dilihat insight yang di dapat setelah outlier diatasi, pada "Pembakaran limbah rumah tangga" dan "Emisi CO₂ berbasis produksi," nilai-nilai di luar batas diganti dengan angka yang masih dalam rentang normal. Hasil akhirnya adalah data yang lebih rapi dan konsisten, tanpa outlier yang mengganggu.

Tabel 2. Pivot Table Pada Kolom Measure.

Cou ntry	year	waste_inci neration	c02_emi ssions	waste_l andfills	co2_gdp	co2_inten sity	waste_recycle d
AUS	2018	49.89	0.51	39.83	247.2215	12.90375	3.20
AUS	2019	49.99	1.02	40.34	246.50125	12.90375	3.17
AUS	2020	52.07	0.61	37.54	242.02125	12.09375	3.43
AUT	2018	2.24	39.21	58.55	160.46000	6.94999	7.51
AUT	2019	2.06	38.91	59.03	164.30000	7.07000	7.45

Data dipivot untuk mempermudah analisis dan membuatnya lebih terstruktur. Dengan format lebar, setiap baris mewakili satu negara dan tahun, dengan informasi yang lebih jelas di kolom terpisah.

Setelah pivot, data menunjukkan kolom-kolom yang terstruktur dengan baik, seperti country, year, waste_incineration, co2_emissions, waste_landfills, co2_gdp, dan waste_recycled, yang memudahkan pengolahan, visualisasi, dan analisis data.

co2_emissions: Jumlah emisi karbon dioksida.

co2_gdp: Emisi karbon dioksida per unit Produk Domestik Bruto (PDB)

co2_intensity: Intensitas emisi karbon dioksida per unit produksi.

waste_incineration: Jumlah limbah yang dibakar.

waste_landfills: Jumlah limbah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir

waste_recycled: Jumlah limbah yang didaur ulang.

Statistical Five Summaries

Tabel 3. Menemukan dan Mendeskripsikan Statistical five Summaries

	year		waste_incineration	co2_emissions	waste_landfills	co2_gdp	co2_intensity	waste_recycled
0	min	2018	0.2200	0.0300	3.9800	54.780000	1.29000	2.8100
1	25%	2018	1.7425	13.3250	110.417500	110.417500	4.53500	5.7225
2	50%	2019	16.6300	29.4750	144.195625	144.195625	6.47000	7.0800
3	75%	2020	49.5175	46.4675	204.891250	204.891250	7.88250	8.8925
4	max	2020	88.4100	79.5100	263.482500	263.482500	12.90375	13.6475

Five-Number Summary menunjukkan variasi besar dalam pengelolaan limbah dan emisi CO₂. Pembakaran limbah memiliki nilai yang sangat rendah (0.22) hingga tinggi (88.41), menunjukkan perbedaan signifikan antar negara. Emisi CO₂ juga bervariasi dari 0.03 hingga 79.51, dengan median 29.48. Limbah ke TPA lebih terkonsentrasi (IQR 33.96–54.41), sementara CO₂ per GDP (54.78–263.48) menunjukkan ketimpangan efisiensi ekonomi terhadap emisi. Intensitas CO₂ (1.29–12.90) dan daur ulang limbah (2.81–13.65) masih relatif rendah, dengan peluang peningkatan dalam pengelolaan lingkungan.

Exploratory Data Analysis



Gambar 3. Grafik TOP 10 COUNTRIES WITH HIGHEST WASTE INCENARATIONS

Dari 28 negara menunjukkan 10 negara dengan limbah pembakaran tertinggi. Negara dengan tingkat pembakaran sampah tertinggi adalah Costa Rica 258.63 (15.14%), diikuti oleh Israel 226.71 (13.27%), dan Latvia 180.32(10.55%).

Feature Engineering

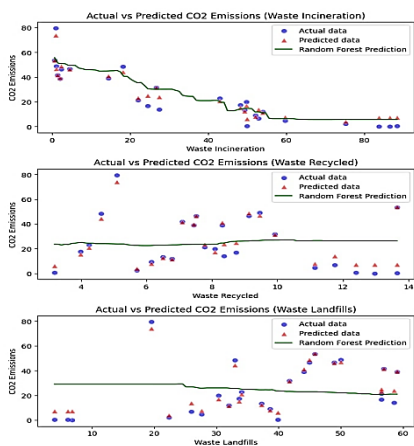
Tabel 4. Feature Engineering

Country	year	waste_inci neration	c02_emiss ions	waste_la ndfills	co2_gdp	co2_intensity	waste_re cycled	region
AUS	2018	49.89	0.51	39.83	247.2215	12.90375	3.20	Oceania
AUS	2019	49.99	1.02	40.34	246.50125	12.90375	3.17	Oceania
AUS	2020	52.07	0.61	37.54	242.02125	12.09375	3.43	Oceania
AUT	2018	2.24	39.21	58.55	160.46000	6.94999	7.51	Central Europe
AUT	2019	2.06	38.91	59.03	164.30000	7.07000	7.45	Central Europe

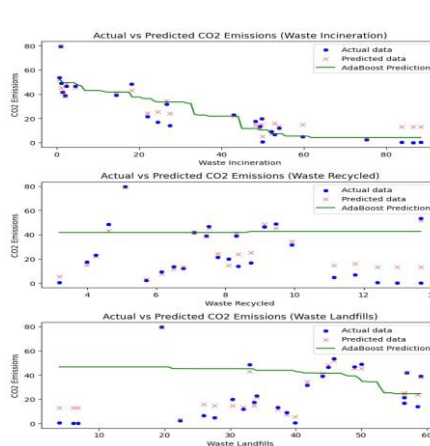
Fitur Region

Memperlihatkan perbandingan antar negara dalam satu wilayah, dan memberikan konteks tambahan untuk memahami pola emisi CO₂ dan pengelolaan sampah.

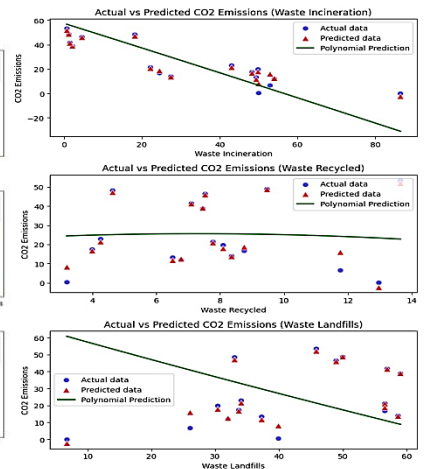
Modeling



Gambar 4. Grafik Random



Gambar 5. Grafik AdaBoost



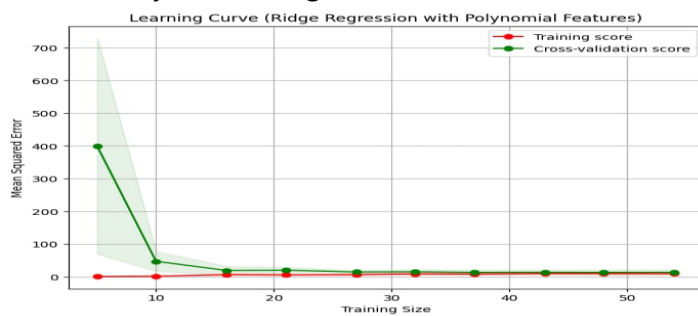
Gambar 6. Grafik Polinomial

Model Random Forest menunjukkan performa yang baik dengan MSE sebesar 18.64, RMSE sebesar 4.32, dan MAE sebesar 3.28. Dengan MSE sebesar 18.64 menunjukkan performa yang solid dalam menangkap pola dalam data.

Model AdaBoost Regression menghasilkan MSE sebesar 37.89, menunjukkan tingkat error kuadrat yang cukup besar dibandingkan model lainnya. Dengan RMSE sebesar 6.16 dan MAE sebesar 4.56, model ini memiliki kesalahan prediksi yang lebih tinggi, mengindikasikan bahwa model kurang optimal dalam menangkap pola data.

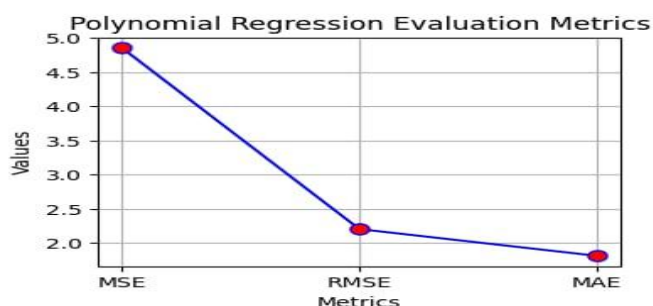
Model menunjukkan performa yang sangat baik dengan MSE sebesar 9.91, mencerminkan rata-rata kesalahan kuadrat yang kecil. Dengan RMSE sebesar 3.15 dan MAE sebesar 1.88, prediksi model cenderung dekat dengan nilai aktual, menunjukkan bahwa model mampu menangkap pola dalam data secara akurat dengan kesalahan prediksi rata-rata yang rendah.

Learning Curves Pada Model Polynomial Regresi



Gambar 7. Grafik Model Polimomial Regresi

Learning curve ini menunjukkan bahwa Training score (garis merah) dan Cross-validation score (garis hijau) stabil di nilai rendah setelah sejumlah data pelatihan yang cukup. Pada awalnya, dengan data pelatihan yang sedikit, Mean Squared Error (MSE) cukup tinggi, namun segera menurun tajam, menunjukkan bahwa model mulai belajar dengan baik. Perbedaan kecil antara training score dan cross-validation score setelah beberapa titik menunjukkan bahwa model ini tidak mengalami overfitting dan dapat menggeneralisasi dengan baik pada data baru.



Gambar 8. Grafik Model Polynomial Regresi Evaluation Metrics

Learning curve ini menunjukkan bahwa Training score (garis merah) dan Cross-validation score (garis hijau) stabil di nilai rendah setelah sejumlah data pelatihan yang

cukup. Pada awalnya, dengan data pelatihan yang sedikit, Mean Squared Error (MSE) cukup tinggi, namun segera menurun tajam, menunjukkan bahwa model mulai belajar dengan baik. Perbedaan kecil antara training score dan cross-validation score setelah beberapa titik menunjukkan bahwa model ini tidak mengalami overfitting dan dapat menggeneralisasi dengan baik pada data baru.

Berdasarkan metrik yang disediakan (MSE = 4.90, RMSE = 2.21, dan MAE = 1.89), performa model Polynomial Regression (Tuned) menunjukkan hasil yang stabil tanpa perubahan signifikan setelah tuning. Karena metrik-metrik utama ini tidak mengalami perubahan yang berarti, dapat disimpulkan bahwa tuning tidak memberikan perbaikan yang signifikan pada model. Model tetap memiliki performa yang baik, dengan hasil yang konsisten dan mampu menjelaskan sebagian besar variansi dalam data.

Visualisasi Data

Pengelolaan limbah seperti landfills, pembakaran (incineration), dan daur ulang (recycling) memiliki dampak berbeda terhadap emisi karbon. Landfills cenderung menghasilkan gas rumah kaca, sementara pembakaran (incineration) meningkatkan CO₂ dan daur ulang (recycling), sebaliknya, lebih ramah lingkungan karena membantu mengurangi jejak karbon.

Emisi CO₂ juga dipengaruhi oleh intensitas ekonomi atau CO₂ GDP intensity, yang mencerminkan efisiensi suatu negara dalam menekan emisi per unit GDP. Memahami interaksi ini penting untuk menciptakan kebijakan pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan.



Gambar 9. Jumlah Nilai Dari Setiap Tipe Pengelolaan Limbah Tahun 2020

Gambar diatas menunjukkan Jumlah Nilai Dari Setiap Tipe Pengelolaan Limbah Tahun 2020 dari 4 negara teratas dan 4 negara terendah.

Warna Hijau Tua: Jumlah Nilai Dari Limbah Yang Didaur Ulang

Warna Hijau Muda: Jumlah Nilai Dari Limbah Yang Dibuang Ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

Warna Kuning = Jumlah Nilai Dari Limbah Yang Dibakar.

Dalam analisis pengelolaan limbah di 28 negara OECD, kita melihat perbedaan yang mencolok dalam metode dan efisiensi pengelolaan limbah. Latvia mencatatkan pembuangan limbah tertinggi dengan 105.47, sebagian besar berasal dari pembakaran, sementara Jepang, dengan pembuangan terendah 25.88, menunjukkan keberhasilan dalam mengelola limbah secara efisien.



Gambar 10. Jumlah Nilai Dari Setiap Tipe CO2 Tahun 2020

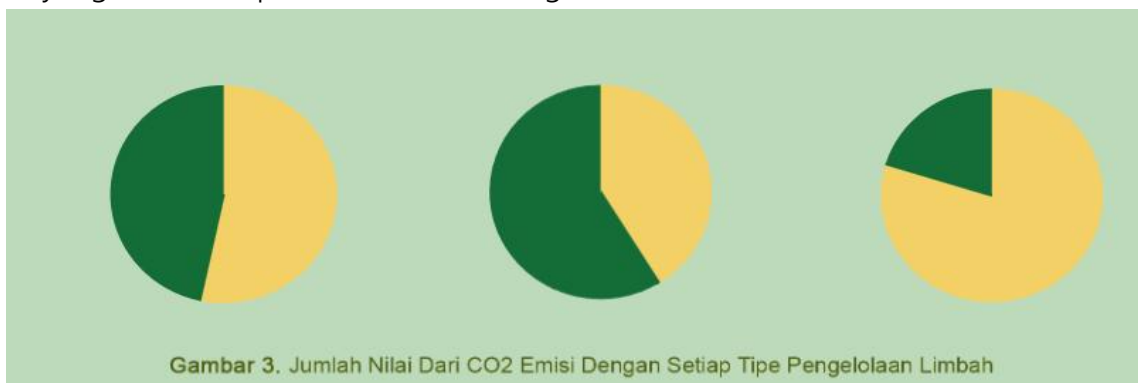
Gambar diatas menunjukkan Jumlah Nilai Dari Setiap Tipe CO2 Tahun 2020 dari 4 negara teratas dan 4 negara terendah.

Warna Hijau Tua : Jumlah Nilai Dari CO2 Intensity

Warna Hijau Muda : Jumlah Nilai Dari CO2 GDP

Warna Kuning = Jumlah Nilai Dari CO2 Emisi

Namun, angka pembuangan limbah ini berhubungan erat dengan emisi karbon. Pada tahun 2020, Jepang, meskipun efisien dalam pengelolaan limbah, mencatatkan emisi CO2 tertinggi, 305.1 yang dipengaruhi oleh intensitas CO2 per unit GDP. Ini menunjukkan bahwa meskipun negara dapat mengurangi pembuangan limbah, faktor ekonomi tetap memainkan peran besar dalam emisi karbon, seperti yang terlihat pada Korea Selatan dan Belanda yang berada di posisi kedua dan ketiga.



Gambar 3. Jumlah Nilai Dari CO2 Emisi Dengan Setiap Tipe Pengelolaan Limbah

Gambar 11. Jumlah Nilai Dari CO2 Emisi Dengan Setiap Tipe Pengelolaan Limbah

Gambar diatas menunjukkan proporsi / perbandingan total nilai dari setiap tipe pengelolaan limbah dengan emisi co2 dari 28 Negara OECD

Warna Hijau = Tipe Pengelolaan Limbah (Kiri = Limbah Yang Dibakar, Tengah =

Limbah Yang Dibuang Ke Tempat Penmbuangan Akhir (TPA) dan Kanan = Limbah Yang Didaur Ulang)

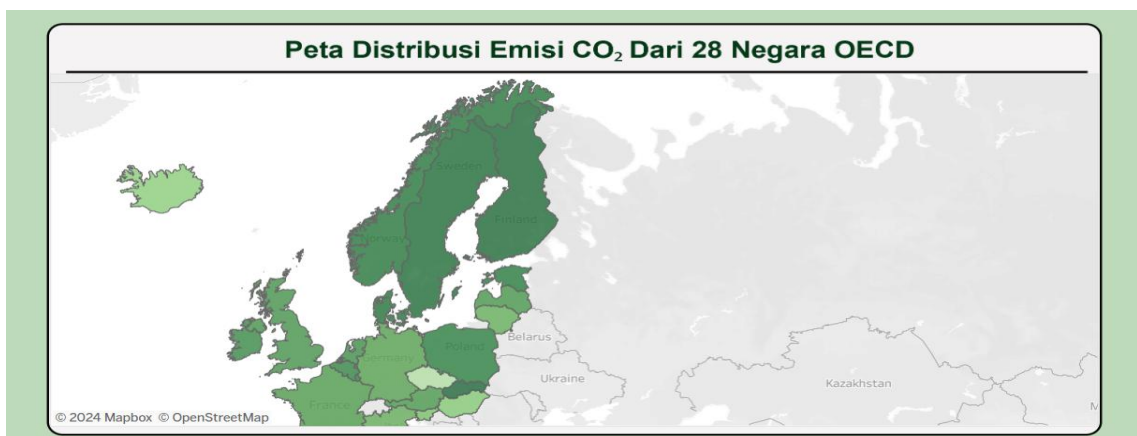
Warna Kuning = Emisi CO2.

Meskipun pembakaran dan landfill menyumbang emisi yang hampir setara, daur ulang menunjukkan emisi yang jauh lebih rendah, dengan nilai hanya 634. Ini menegaskan bahwa meskipun semua metode pengelolaan limbah berkontribusi terhadap emisi, daur ulang adalah pilihan paling efisien untuk mengurangi dampak karbon dan mendorong keberlanjutan.



Gambar 12. Top 10 Negara Dengan Nilai Rata-Rata CO2 Emisi Tinggi

Jepang mencatat emisi CO₂ tertinggi rata-rata 79,25, diikuti oleh Finlandia dan Swedia. Sementara Belanda berada di posisi terendah dengan 42,02, menunjukkan bahwa negara-negara dengan kebijakan dan industri yang lebih efisien cenderung menghasilkan emisi lebih rendah.



Gambar 13. Peta Distribusi Emisi CO2 Dari 28 Negara OECD

Gambar diatas merupakan map/peta persebaran emisi co2 dari 28 Negara OECD yang menunjukkan bahwa semakin pekat warna nya menandakan bahwa rata rata emisi co2 di negara tersebut tinggi dan begitu pun sebaliknya, hal ini mengidentifikasi wilayah yang perlu fokus pada pengurangan emisi dan pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan.

SIMPULAN

Penelitian ini menyoroti pentingnya efisiensi pengelolaan limbah dalam menekan emisi karbon dan mendukung keberlanjutan lingkungan. Dengan menganalisis data dari 28 negara OECD selama 2018-2020, ditemukan bahwa metode pengelolaan limbah seperti daur ulang dan insinerasi dengan pemanfaatan energi mampu mengurangi emisi karbon secara signifikan dibandingkan dengan metode landfill. Hal ini menegaskan bahwa pemilihan teknologi dan kebijakan yang tepat berperan krusial dalam mengurangi jejak karbon global.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa negara-negara maju seperti Belanda dan Swedia memiliki tingkat efisiensi pengelolaan limbah yang tinggi, berkat penerapan teknologi modern dan kebijakan adaptif. Sebaliknya, negara-negara berkembang masih menghadapi tantangan besar, terutama dalam hal ketergantungan pada landfill yang menghasilkan emisi metana tinggi. Perbedaan ini mencerminkan pentingnya transfer pengetahuan dan teknologi antar negara untuk mempercepat transisi menuju pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan.

Selain faktor teknologi, kebiasaan masyarakat dan kesadaran akan pentingnya daur ulang juga berkontribusi terhadap keberhasilan pengelolaan limbah. Edukasi publik menjadi elemen penting dalam mendorong perubahan perilaku yang mendukung praktik ramah lingkungan. Dengan meningkatkan kesadaran masyarakat dan menyediakan infrastruktur yang memadai, negara-negara dapat mengurangi emisi karbon sekaligus menciptakan manfaat ekonomi dari limbah yang dikelola dengan baik.

Kesimpulannya, pengelolaan limbah yang efisien tidak hanya berdampak positif pada lingkungan tetapi juga pada aspek sosial dan ekonomi. Penelitian ini menegaskan perlunya kolaborasi internasional dalam merumuskan kebijakan dan implementasi teknologi yang adaptif sesuai dengan kebutuhan dan kapasitas masing-masing negara. Dengan pendekatan holistik dan kolaboratif, tujuan keberlanjutan global dapat lebih mudah dicapai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini, terutama kepada tim penyusun data dan institusi terkait yang menyediakan akses data yang relevan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada reviewer dan editor jurnal atas masukan yang konstruktif selama proses penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ammarnurhandyka, M., Sains, F., & Diponegoro, U. (2023). Peran Teknologi Hijau dalam Mencapai Pembangunan Berkelanjutan di Masa Depan. *JECTH: Journal Economy, Technology, Social and Humanities*, 1(1), 1–7.
- Anggara, A. A., & Kaukab, M. E. (2024). Peran Ekonomi Sirkular, Transisi Energi, Ketatnya Kebijakan Lingkungan, dan Tekanan Rantai Pasokan terhadap Emisi CO2 di Negara-negara Berkembang. *MAGNA: Journal of Economics, Management, and Business*, 3(2), 48. <https://doi.org/10.32699/magna.v3i2.7907>
- Fahmi Kurniawan, & Abil Mansyur. (2023). Pemodelan Matematis Produk Domestik Regional Bruto Provinsi Sumatera Utara Berdasarkan Lapangan Usaha Dengan Regresi Linier Dan Nonlinier. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 2(1), 145–158. <https://doi.org/10.58169/saintek.v2i1.153>
- Guardians, G. (2024). *Analisis Efisiensi Pengolahan Limbah dan Dampaknya Terhadap Emisi Karbon Di Berbagai Negara*.
- Gusty, S., Syarifudin, E., & Adriansyah, M. S. (2024). *Perubahan Iklim Dan Stabilitas Geoteknik*.
- Karimah, H., Malihah, L., Rahmah, M., & Nawiyah, L. (2023). Peluang dan tantangan pengelolaan kegiatan ekonomi sirkular di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Cahaya Kencana Martapura. *E-Jurnal Ekonomi Sumberdaya Dan Lingkungan*, 12(1), 1–20.
- Luhung, S. U. A., & Yuniasih, A. F. (2023). Faktor-faktor yang Memengaruhi Indeks Kualitas Lingkungan Hidup di Indonesia, 2017-2021. *Seminar Nasional Official Statistics, 2023*(1), 787–796. <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2023i1.1850>
- Millatie, P. A., Thamrin, S., Murtiana, S., Fajriyah, L., Studi, P., Energi, K., & Pertahanan, M. (2023). Analisis Siklus Hidup Bioavtur dan Dampaknya terhadap Lingkungan: Jurnal Review. *Jurnal Kewarganegaraan*, 7(2), 1862–1869.
- Nathania Arindha Putri, Ramadhan Adin Nugroho, H. (2024). *Program Keberlanjutan: Transisi Dan Implementasi Pada Ekonomi Hijau*. 6(4).
- Rhamadani, S. F., Islam, U., Raden, N., Lampung, I., Sisdianto, E., Islam, U., Raden, N., & Lampung, I. (2024). *Urgensi akuntansi lingkungan dalam meningkatkan daya saing perusahaan di pasar global era digital*. 2(12), 477–490.
- Sandiyah, H. I., Hartono, A. T., & Sunarko, B. S. (2024). *Upaya Pemerintah Tiongkok dalam Menjaga Keamanan Pangan Berkelanjutan: Studi terhadap kebijakan pencegahan limbah makanan*. 1(4), 293–314.
- Sudarta. (2022a). *Pengelolaan Pemanfaatan Hutan Di Indonesia Dalam Rangka Mengurangi Emisi Karbon Pesawat*. 16(1), 1–23.
- Sudarta. (2022b). *Perubahan Kebijakan Sektor Ketahanan Pangan Organisasi Internasional D-8*. 16(1), 1–23.
- Ammarnurhandyka, M., Sains, F., & Diponegoro, U. (2023). Peran Teknologi Hijau dalam Mencapai Pembangunan Berkelanjutan di Masa Depan. *JECTH: Journal Economy, Technology, Social and Humanities*, 1(1), 1–7.

- Anggara, A. A., & Kaukab, M. E. (2024). Peran Ekonomi Sirkular, Transisi Energi, Ketatnya Kebijakan Lingkungan, dan Tekanan Rantai Pasokan terhadap Emisi CO₂ di Negara-negara Berkembang. *MAGNA: Journal of Economics, Management, and Business*, 3(2), 48. <https://doi.org/10.32699/magna.v3i2.7907>
- Fahmi Kurniawan, & Abil Mansyur. (2023). Pemodelan Matematis Produk Domestik Regional Bruto Provinsi Sumatera Utara Berdasarkan Lapangan Usaha Dengan Regresi Linier Dan Nonlinier. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 2(1), 145–158. <https://doi.org/10.58169/saintek.v2i1.153>
- Guardians, G. (2024). *Analisis Efisiensi Pengolahan Limbah dan Dampaknya Terhadap Emisi Karbon Di Berbagai Negara*.
- Gusty, S., Syarifudin, E., & Adriansyah, M. S. (2024). *Perubahan Iklim Dan Stabilitas Geoteknik*.
- Karimah, H., Malihah, L., Rahmah, M., & Nawiyah, L. (2023). Peluang dan tantangan pengelolaan kegiatan ekonomi sirkular di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Cahaya Kencana Martapura. *E-Jurnal Ekonomi Sumberdaya Dan Lingkungan*, 12(1), 1–20.
- Luhung, S. U. A., & Yuniasih, A. F. (2023). Faktor-faktor yang Memengaruhi Indeks Kualitas Lingkungan Hidup di Indonesia, 2017-2021. *Seminar Nasional Official Statistics, 2023*(1), 787–796. <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2023i1.1850>
- Millatie, P. A., Thamrin, S., Murtiana, S., Fajriyah, L., Studi, P., Energi, K., & Pertahanan, M. (2023). Analisis Siklus Hidup Bioavtur dan Dampaknya terhadap Lingkungan: Jurnal Review. *Jurnal Kewarganegaraan*, 7(2), 1862–1869.
- Nathania Arindha Putri, Ramadhan Adin Nugroho, H. (2024). *Program Keberlanjutan: Transisi Dan Implementasi Pada Ekonomi Hijau*. 6(4).
- Rhamadani, S. F., Islam, U., Raden, N., Lampung, I., Sisdianto, E., Islam, U., Raden, N., & Lampung, I. (2024). *Urgensi akuntansi lingkungan dalam meningkatkan daya saing perusahaan di pasar global era digital*. 2(12), 477–490.
- Sandiyah, H. I., Hartono, A. T., & Sunarko, B. S. (2024). *Upaya Pemerintah Tiongkok dalam Menjaga Keamanan Pangan Berkelanjutan: Studi terhadap kebijakan pencegahan limbah makanan*. 11(4), 293–314.
- Sudarta. (2022a). *Pengelolaan Pemanfaatan Hutan Di Indonesia Dalam Rangka Mengurangi Emisi Karbon Pesawat*. 16(1), 1–23.
- Sudarta. (2022b). *Perubahan Kebijakan Sektor Ketahanan Pangan Organisasi Internasional D-8*. 16(1), 1–23.