

HUBUNGAN ANTARA PAJAK KARBON, PENGGUNAAN ENERGI FOSIL, DAN PERTUMBUHAN EKONOMI TERHADAP EMISI KARBON DI NEGARA UNI EROPA

Arief Affandi¹, Ilham Fikriansyah², Mahardika Bayu Hermawan Putra³, Rissa Aprilia Putri Widyaswari⁴, Yohana Peace⁵, Maryadi⁶

¹²³⁴⁵⁶Politeknik Keuangan Negara STAN

*Corresponding email: ariefaffandi@gmail.com

Abstrak: Penelitian ini menguji pengaruh pajak karbon, penggunaan bahan bakar fosil, dan pertumbuhan ekonomi terhadap emisi karbon dengan menggunakan sampel 15 negara di Eropa pada tahun 2023. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi analisis regresi untuk menguji hubungan antara variabel independen dan variabel dependen serta metode clustering untuk mengelompokkan negara berdasarkan karakteristik yang relevan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan gas alam dan minyak bumi memiliki pengaruh signifikan terhadap emisi karbon, yang berkontribusi pada pemanasan global. Selain itu, hasil analisis clustering mengindikasikan adanya perbedaan signifikan dalam pola penggunaan kedua sumber daya energi tersebut di antara kelompok negara yang terbentuk. Berdasarkan temuan ini, penelitian ini memberikan rekomendasi kebijakan fiskal yang dapat diterapkan di Indonesia guna mendukung upaya pemerintah dalam mengurangi emisi karbon secara efektif.

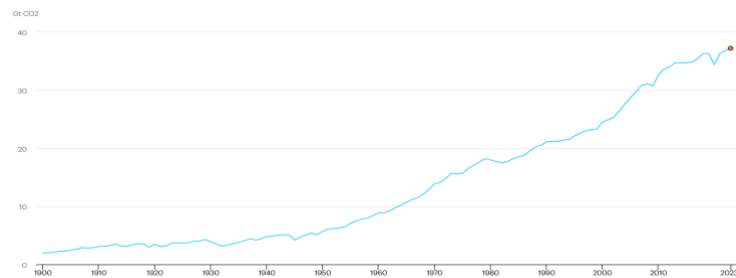
Kata kunci: pajak karbon, bahan bakar fosil, emisi karbon, pertumbuhan ekonomi, kebijakan fiskal.

Abstract: This study examines the impact of carbon tax, fossil fuel consumption, and economic growth on carbon emissions using a sample of 15 European countries in 2023. The methodology includes regression analysis to assess the relationship between independent and dependent variables, as well as clustering methods to categorize countries based on relevant characteristics. The results indicate that natural gas and oil consumption significantly influence carbon emissions, contributing to global warming. Furthermore, the clustering analysis reveals substantial differences in the usage patterns of these energy sources between the identified clusters. Based on these findings, this study provides recommendations for fiscal policies that could be implemented in Indonesia to support government efforts in reducing carbon emissions effectively.

Keywords: carbon tax, fossil fuel consumption, carbon emissions, economic growth, fiscal policy.

PENDAHULUAN

Sejak awal sejarah, sumber daya alam telah digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Namun, dampak dari konsumsi sumber daya alam yang tidak sadar dan polusi mulai semakin terasa dalam satu abad terakhir. Revolusi Industri merupakan penyebab utama dari perubahan-perubahan yang terjadi selama abad terakhir. Fosil dianggap sebagai sumber yang paling tepat untuk memenuhi permintaan energi yang terus meningkat sejak Revolusi Industri dan telah digunakan secara intensif. Peningkatan emisi gas karbon dioksida akibat penggunaan bahan bakar fosil semakin merusak alam setiap harinya. Kerusakan alam telah menjadi masalah seluruh umat manusia seiring dengan fenomena globalisasi yang muncul akibat perkembangan pesat dalam teknologi komunikasi dan transportasi sejak paruh kedua abad ke-20. Masalah-masalah ini mengancam individu maupun negara dan mencakup polusi lingkungan yang meliputi darat, udara, dan laut, penipisan lapisan ozon, pemanasan global dan perubahan iklim, berkurangnya keanekaragaman hayati, epidemi, perang, serta migrasi.



Gambar 1. Emisi CO2 Tahunan
Sumber: International Energy Agency

Pemanasan global telah menjadi permasalahan krusial yang mempengaruhi berbagai aspek kehidupan di dunia. Salah satu penyebab utama fenomena ini adalah peningkatan konsentrasi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO₂) di atmosfer. Menurut laporan tahunan *World Bank Meteorological Organization* (WMO), konsentrasi CO₂ telah mencapai rekor tertinggi dalam tahun terakhir. Peningkatan ini sebagian besar diakibatkan oleh aktivitas manusia, terutama dari pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Dampak dari emisi karbon yang tinggi tidak hanya menyebabkan kenaikan suhu global, tetapi juga berdampak pada perubahan pola cuaca ekstrem, pencemaran udara, serta peningkatan frekuensi bencana alam seperti banjir dan kekeringan.

Emisi karbon (CO₂) yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak, batu bara, dan gas alam telah diidentifikasi sebagai kontributor utama pemanasan global (Bray, S 2022). Secara historis, hingga tahun 1950, negara-negara Eropa dan Amerika Serikat menyumbang lebih dari 85% emisi CO₂ global setiap tahunnya. Sebagai respons terhadap tantangan perubahan iklim, sebanyak 196 negara menandatangani *Paris Agreement* dengan komitmen membatasi kenaikan suhu global di bawah 1,5°C dibandingkan dengan level pra-industri. Salah satu langkah kebijakan yang diambil adalah penerapan instrumen harga karbon, seperti Sistem Perdagangan Emisi (Emission Trading System/ETS) dan pajak karbon, yang telah diimplementasikan di 57 negara (World Bank Group, 2019). Uni Eropa, khususnya, dianggap sebagai contoh terdepan dalam penerapan sistem cap-and-trade yaitu sistem yang diterapkan untuk pembatasan emisi gas rumah kaca. Berdasarkan peraturan emisi karbon Uni Eropa, importir barang-barang tinggi emisi diwajibkan membayar biaya sesuai dengan apa yang telah dibayarkan oleh produsen.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan pajak karbon, pertumbuhan Produk Domestik Bruto (PDB), serta penggunaan gas alam dan minyak bumi terhadap emisi karbon di 15 negara Uni Eropa tahun 2023. Studi ini relevan mengingat Uni Eropa telah mengadopsi berbagai kebijakan ambisius untuk mencapai netralitas karbon pada tahun 2050, termasuk melalui European Green Deal yang mencakup reformasi Sistem Perdagangan Emisi Uni Eropa (EU ETS) dan percepatan transisi menuju energi terbarukan.

Pemilihan variabel dalam penelitian ini didasarkan pada beberapa pertimbangan utama. Pajak karbon dipilih sebagai variabel utama karena merupakan instrumen kebijakan yang secara langsung bertujuan untuk menginternalisasi dampak negatif emisi karbon melalui mekanisme harga. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pajak karbon dapat memberikan insentif bagi industri untuk beralih ke teknologi yang lebih ramah lingkungan dan meningkatkan efisiensi energi. Sebagai contoh, studi oleh Alper (2017) menemukan bahwa peningkatan sebesar 1% pada pajak lingkungan dapat mengurangi emisi karbon sebesar 0,9% di beberapa negara Eropa selama periode 1995–2015.

Penggunaan bahan bakar fosil, yang mencakup gas alam dan minyak bumi, dipilih sebagai variabel karena masih menjadi sumber energi dominan di banyak negara Uni Eropa, meskipun terdapat upaya transisi ke energi terbarukan. Penggunaan bahan bakar ini memiliki

dampak langsung terhadap emisi karbon, dengan minyak bumi dan batu bara menjadi penyumbang terbesar. Sebagai contoh, penelitian Alper (2017) menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1% dalam konsumsi gas alam dan minyak bumi masing-masing dapat meningkatkan emisi karbon sebesar 0,1% dan 0,7%.

Pertumbuhan PDB dipilih sebagai variabel karena aktivitas ekonomi yang lebih tinggi umumnya dikaitkan dengan peningkatan konsumsi energi dan emisi karbon. Namun, dalam beberapa kasus, pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan juga dapat dikaitkan dengan inovasi teknologi dan efisiensi energi yang lebih baik, yang berpotensi menurunkan emisi karbon. Oleh karena itu, analisis hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi karbon menjadi krusial dalam mengevaluasi efektivitas kebijakan lingkungan di Uni Eropa.

Selain itu, alasan utama peneliti dalam melakukan penelitian ini adalah untuk memberikan gambaran mengenai bagaimana kebijakan pengurangan emisi karbon di Uni Eropa dapat dijadikan sebagai referensi bagi Indonesia. Uni Eropa telah lama menjadi pelopor dalam penerapan kebijakan lingkungan yang ketat, seperti sistem perdagangan emisi (EU ETS) dan pajak karbon, yang terbukti efektif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Dengan mempelajari lebih dalam pengalaman Uni Eropa dalam menerapkan pajak karbon dan regulasi lingkungan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai kebijakan yang dapat diadaptasi di Indonesia.

Indonesia sebagai negara berkembang menghadapi tantangan unik dalam menerapkan kebijakan pengurangan emisi karbon, terutama karena ketergantungan yang masih tinggi pada bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama serta kebutuhan untuk menjaga pertumbuhan ekonomi. Menurut penelitian yang dilakukan (Kumala et al., 2021), menunjukkan bahwa pajak karbon bisa menjadi jawaban dan alternatif yang tepat untuk diterapkan di Indonesia dalam menjawab tantangan pemanasan global dan keterpurukan iklim. Selain itu, pajak karbon akan menambah pendapatan negara dari perluasan basis pajak, juga secara tidak langsung mengurangi emisi karbon dan efek rumah kaca yang ditimbulkan sesuai dengan target yang dicanangkan Indonesia dalam Perjanjian Paris. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan kebijakan yang tidak hanya efektif dalam mengurangi emisi karbon tetapi juga memperhitungkan kondisi ekonomi, sosial, dan infrastruktur di Indonesia. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi praktik terbaik dari Uni Eropa yang dapat diadaptasi dengan mempertimbangkan karakteristik khusus Indonesia, seperti ketersediaan sumber daya energi, kesiapan industri, dan dampak terhadap sektor-sektor ekonomi utama.

Lebih lanjut, penelitian ini juga berkontribusi dalam perumusan kebijakan lingkungan yang berbasis bukti dengan memberikan rekomendasi yang lebih kontekstual dan relevan bagi Indonesia. Dengan demikian, hasil dari penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pemerintah dan pemangku kepentingan dalam merancang strategi pengurangan emisi karbon yang lebih terukur dan berkelanjutan, selaras dengan komitmen internasional dan kepentingan nasional. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memahami dinamika antara kebijakan pajak karbon, pertumbuhan ekonomi, dan penggunaan bahan bakar fosil terhadap emisi karbon di negara-negara Uni Eropa. Hasilnya diharapkan dapat menjadi acuan bagi pembuat kebijakan dalam merumuskan strategi yang efektif untuk mencapai target pengurangan emisi sesuai dengan komitmen internasional.

LANDASAN TEORI

Emisi Karbon

Emisi karbon adalah jumlah gas karbon yang dilepaskan oleh individu atau kelompok dalam jangka waktu tertentu. Biasanya, emisi ini diukur dalam ton atau kilogram setara CO₂ (tCO₂e atau kgCO₂e) (Ratnawati, 2016). Zhang et al. (2008) menyebutkan bahwa sejak Revolusi Industri tahun 1751, emisi karbon terus meningkat. Pada tahun 1980, emisi karbon

dari industri di negara maju tercatat tiga kali lipat lebih tinggi dibandingkan dengan negara-negara berkembang lainnya. Emisi karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu dari beberapa jenis emisi gas rumah kaca dan menjadi faktor utama munculnya fenomena iklim dunia, yakni pemanasan global. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) mengungkapkan terdapat 5 sektor sumber penyumbang utama emisi karbon dioksida yang diantaranya proses industri, penggunaan produk, penggunaan energi, PKPL (pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan), serta limbah.

Environmental Tax

Markandya (2012) menjelaskan bahwa pajak lingkungan bertujuan untuk menjaga kelestarian alam selain itu bahwa pajak ini dikenakan pada aktivitas yang berdampak buruk bagi lingkungan. Aisyah et al. (2020) memaparkan terkait pajak karbon termasuk dalam kategori pajak lingkungan dan diterapkan pada penggunaan bahan bakar seperti gas, batu bara, dan minyak. Penerapan pajak ini membuat harga bahan bakar fosil naik, sehingga sesuai dengan hukum permintaan, kenaikan harga tersebut akan menurunkan konsumsi bahan bakar fosil. Amalia (2018) berpendapat bahwa melalui pajak ini, pemerintah dapat berkontribusi dalam menjaga kelestarian lingkungan.

Gas dan Minyak Bumi

Minyak dan gas bumi adalah sumber daya alam yang tersimpan di bawah permukaan bumi dan berbentuk cair maupun gas. Minyak dan gas bumi berada di dalam pori-pori batuan pada suatu kolam di perut bumi yang disebut reservoir. Minyak dan gas bumi terdiri atas senyawa kompleks. Unsur utamanya adalah atom hidrogen (H) dan karbon (C) sehingga disebut juga dengan senyawa hidrokarbon (C_xH_y). Minyak bumi dan gas alam terbentuk dari beraneka jasad organik seperti hewan dan tumbuhan yang mati dan tertimbun endapan pasir dan lumpur. Kemudian endapan lumpur ini menghanyutkan senyawa pembentuk minyak bumi ini dari sungai menuju ke laut dan mengendap di dasar lautan selama jutaan tahun. Akibat pengaruh waktu, temperatur dan tekanan lapisan batuan di atasnya menyebabkan organisme itu menjadi bintik-bintik minyak maupun gas.

METODE

Jenis dan Sumber Data Penelitian

1. Jenis Data
Penelitian ini menggunakan data kuantitatif, yaitu data yang disajikan dalam bentuk angka dan dapat dikaitkan dengan kategori atau label tertentu. Data diperoleh dari sumber-sumber seperti publikasi resmi, laporan penelitian, database, dan dokumen yang telah diterbitkan sebelumnya (Handayani, 2023).
2. Sumber Data
Sumber data yang digunakan adalah data sekunder, yaitu data yang diperoleh dari sumber tidak langsung, seperti EDGAR (Emissions Database for Global Atmospheric Research) yang dihimpun dalam World Bank Data, serta Statistical Review of World Energy oleh British Petroleum untuk data emisi karbon dioksida (CO₂), konsumsi gas alam (NG), dan konsumsi minyak bumi (O) di negara-negara Uni Eropa.

Variabel Penelitian

1. Variabel Independen
Variabel bebas (independen) adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab. Dalam penelitian ini variabel bebas adalah pajak karbon (X1), penggunaan

bahan bakar fosil meliputi konsumsi gas alam (X2) dan konsumsi minyak bumi (X3), dan pertumbuhan PDB (X4). Pajak karbon mengacu pada pajak yang dikenakan kepada individu, perusahaan, atau sektor ekonomi lainnya berdasarkan jumlah emisi karbon yang dihasilkan dari kegiatan mereka. Penggunaan bahan bakar fosil merujuk pada tingkat konsumsi bahan bakar fosil, seperti minyak bumi dan gas alam dalam suatu negara atau wilayah tertentu. Pertumbuhan PDB menggambarkan tingkat pertumbuhan ekonomi suatu negara dalam periode tertentu.

2. Variabel Dependen

Variabel dependen adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat. Dalam penelitian ini variabel dependen adalah emisi karbon. Emisi karbon merujuk pada jumlah gas karbon yang dilepaskan ke atmosfer sebagai hasil dari berbagai aktivitas manusia, terutama dalam sektor energi, transportasi, dan industri. Emisi karbon merupakan salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global dan pemanasan global.

Model Penelitian

Dalam penelitian ini, digunakan dua pendekatan analisis yaitu analisis regresi untuk menguji hubungan antara variabel independen dan variabel dependen serta metode clustering untuk mengelompokkan negara berdasarkan karakteristik yang relevan. Dengan kombinasi kedua metode ini, penelitian dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai faktor-faktor yang memengaruhi emisi karbon serta pola pengelompokan negara berdasarkan kesamaan karakteristiknya.

1. Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan salah satu metode statistik yang digunakan untuk mengidentifikasi kekuatan dan arah hubungan antara satu atau lebih variabel independen dengan variabel dependen (Purwanto dkk, 2021). Dalam penelitian ini, analisis regresi digunakan untuk mengukur pengaruh pajak karbon, penggunaan gas alam, penggunaan minyak bumi, dan pertumbuhan ekonomi terhadap tingkat emisi karbon di beberapa negara. Berdasarkan variabel yang telah disusun, model regresi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$Y = a + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \epsilon$$

Keterangan:

Y : Emisi Karbon

α : Konstanta

β : Koefisien regresi

X1 : Pajak karbon (ET)

X2 : Penggunaan Gas Alam (NG)

X3 : Penggunaan Minyak Bumi (O)

X4 : Pertumbuhan PDB (GDP Growth)

ϵ : Error

Pendekatan ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana setiap variabel independen memengaruhi tingkat emisi karbon suatu negara. Jika koefisien β dari suatu variabel signifikan secara statistik, maka dapat disimpulkan bahwa variabel tersebut memiliki pengaruh terhadap emisi karbon.

2. Analisis Klasterisasi

Selain analisis regresi, penelitian ini juga menggunakan metode clustering untuk mengelompokkan negara berdasarkan karakteristik yang terkait dengan emisi karbon dan faktor-faktor yang memengaruhinya. Clustering dilakukan menggunakan

perangkat lunak KNIME dengan algoritma K-Means, yang merupakan salah satu metode clustering yang paling umum digunakan untuk mengelompokkan data berdasarkan kemiripan karakteristik.

Dalam penelitian ini, 15 negara dipilih sebagai sampel dan dikelompokkan ke dalam dua cluster berdasarkan variabel berikut:

- Pajak karbon (ET)
- Penggunaan gas alam (NG)
- Penggunaan minyak bumi (O)
- Pertumbuhan PDB (GDP Growth)
- Tingkat emisi karbon

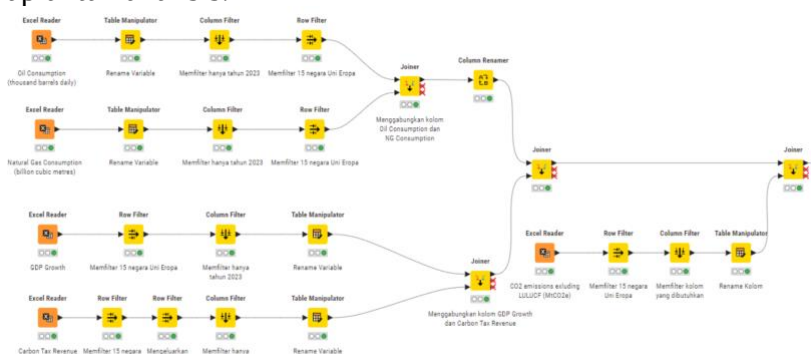
Metode K-Means bekerja dengan membagi negara-negara ke dalam dua kelompok (cluster) berdasarkan pola yang paling mirip di antara mereka. Hasil clustering menunjukkan bahwa negara-negara yang memiliki kesamaan dalam kebijakan pajak karbon, penggunaan energi, dan tingkat emisi cenderung berada dalam kelompok yang sama.

Hasil pengelompokan dari analisis clustering adalah sebagai berikut:

- Cluster_0: Negara-negara dengan tingkat emisi karbon yang lebih tinggi, ketergantungan besar terhadap bahan bakar fosil, serta kebijakan pajak karbon yang masih terbatas. Negara-negara dalam kelompok ini cenderung belum mengadopsi kebijakan lingkungan yang ketat.
- Cluster_1: Negara-negara dengan kebijakan pajak karbon yang lebih ketat, tingkat penggunaan energi terbarukan yang lebih tinggi, serta emisi karbon yang lebih terkendali. Negara-negara dalam kelompok ini umumnya memiliki strategi mitigasi perubahan iklim yang lebih baik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan KNIME untuk menganalisis hubungan antara pajak karbon, penggunaan energi fosil, pertumbuhan ekonomi, dan emisi karbon dengan regresi linear, serta mengelompokkan negara-negara Uni Eropa berdasarkan pola emisi karbon menggunakan klasterisasi K-Means. Sebelum pemodelan, dilakukan proses *cleaning data* untuk memastikan dataset bersih dan lengkap, termasuk menangani nilai yang hilang, mengonversi format variabel dengan *String to Number*, memilih data yang digunakan *Column Filter* dan *Row Filter*, serta menyusun ulang kolom menggunakan *Table Manipulator* agar data lebih terstruktur dan siap untuk analisis.

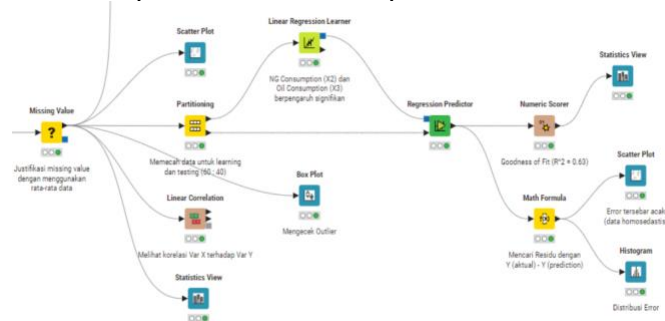


Gambar 2. workflow KNIME : Cleaning Data (diolah penulis)

Metode Regresi Linear Berganda

Regresi Linear Berganda (RLB) digunakan untuk memahami pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Untuk memastikan validitas hasil analisis, data harus

dalam kondisi lengkap tanpa nilai yang hilang. Data kemudian dipartisi dengan proporsi 60% untuk training dan 40% untuk testing menggunakan node *Partitioning* di KNIME. Model regresi dikembangkan melalui *Linear Regression Learner* dan diuji dengan *Regression Predictor* untuk menilai akurasi prediksi variabel dependen berdasarkan data uji.



Gambar 3. workflow KNIME: Gambaran umum metode RLB (diolah penulis)

Analisis deskriptif digunakan untuk memahami pola distribusi data sebelum analisis lebih lanjut. Mayoritas variabel (*CO₂e Emission*, *Carbon Tax Revenue*, *Natural Gas Consumption*, dan *Oil Consumption*) menunjukkan distribusi *positively skewed*, menandakan bahwa sebagian kecil negara memiliki nilai yang jauh lebih tinggi dibandingkan lainnya. Variabel pertumbuhan ekonomi (*GDP Growth*) memiliki distribusi yang lebih seimbang tetapi memiliki nilai negatif yang menunjukkan adanya kontraksi ekonomi di beberapa negara.

Rows: 5 Columns: 14									
Name	Type	# Missing val...	# Unique val...	Minimum	Maximum	25% Quantile	50% Quantile...	75% Quantile	Mean
CO ₂ e Emissi...	Number (doubl...	0	15	12.076	302.103	32.483	43.825	217.262	104.511
Penerimaan F...	Number (doubl...	0	15	1.258	8,373.75	115.487	994.495	1,418.644	1,346.108
Natural Gas C...	Number (doubl...	0	15	0.716	63.504	1.63	4.823	25.772	13.816
Oil Consumpt...	Number (doubl...	0	15	43.809	1,347.801	164.121	216.321	850.292	481.242
GDP Growth	Number (doubl...	0	15	-5.53	2.676	-0.908	0.34	2.113	0.242

Sumber data <https://data.worldbank.org> dan <https://www.bp.com> (diolah penulis)

Korelasi merupakan ukuran statistik yang menggambarkan hubungan antara dua variabel. Semakin mendekati +1, hubungan tersebut semakin kuat dalam arah positif, sementara semakin mendekati -1, hubungan tersebut semakin kuat dalam arah negatif. Analisis menunjukkan bahwa emisi CO₂ berkorelasi kuat dengan konsumsi gas alam (NG) dan minyak bumi (O), mengindikasikan bahwa penggunaan energi fosil berkontribusi besar terhadap emisi karbon. Sebaliknya, hubungan antara pajak karbon (ET) dan emisi CO₂ lemah, menunjukkan efektivitas yang terbatas dalam mengurangi konsumsi energi fosil.

Rows: 10 Columns: 5						
#	RowID	First column name	Second column name	Correlation value	p value	Degrees of freedom
1	Row0	CO ₂ e Emissions Excl LULU	Penerimaan Pajak Karbon	0.352	0.198	13
2	Row1	CO ₂ e Emissions Excl LULU	Natural Gas Consumption (	0.877	0	13
3	Row2	CO ₂ e Emissions Excl LULU	Oil Consumption (barrels)	0.921	0	13
4	Row3	CO ₂ e Emissions Excl LULU	GDP Growth	0.168	0.551	13
5	Row4	Penerimaan Pajak Karbon	Natural Gas Consumption (	0.262	0.346	13
6	Row5	Penerimaan Pajak Karbon	Oil Consumption (barrels)	0.443	0.098	13
7	Row6	Penerimaan Pajak Karbon	GDP Growth	-0.018	0.948	13
8	Row7	Natural Gas Consumption (	Oil Consumption (barrels)	0.917	0	13
9	Row8	Natural Gas Consumption (	GDP Growth	0.127	0.652	13
10	Row9	Oil Consumption (barrels)	GDP Growth	0.236	0.398	13

Sumber data <https://data.worldbank.org> dan <https://www.bp.com> (diolah penulis)

Selain itu, konsumsi minyak (O) dan gas (NG) memiliki korelasi tinggi, menandakan bahwa negara-negara dalam studi ini cenderung menggunakan kedua sumber energi tersebut secara bersamaan. Namun, konsumsi gas alam tidak berkaitan erat dengan pertumbuhan ekonomi, yang berarti dalam dataset ini, peningkatan ekonomi tidak selalu sejalan dengan peningkatan emisi karbon.

1. Pencilan

Outlier (pencilan) merupakan data yang memiliki perbedaan mencolok dibandingkan dengan sebagian besar data dalam suatu himpunan. Nilai ini menyimpang secara drastis dari pola umum dan berpotensi mempengaruhi hasil analisis statistik. Keberadaan outlier bisa disebabkan oleh kesalahan dalam pengukuran, variasi alami, atau faktor eksternal tertentu.

Outlier diidentifikasi menggunakan metode *Interquartile Range* (IQR), yang dihitung dengan rumus:

$$IQR = Q3 - Q1$$

Batas bawah dan batas atas untuk mendeteksi outlier dihitung sebagai berikut:

- $IQR = Q3 - Q1$
- Batas bawah = $Q1 - (1.5 \times IQR)$
- Batas atas = $Q3 + (1.5 \times IQR)$

Jika ada data yang berada di luar batas tersebut, maka data tersebut dikategorikan sebagai outlier. Berdasarkan perhitungan pada data, semua data berada dalam batas normal, sehingga tidak ada nilai yang masuk kategori *outlier*.

Variabel	IQR	Batas Bawah	Batas Atas	Outlier
CO2 Emissions	277.169	-244.686	494.431	Tidak ada
Penerimaan Pajak Karbon	1954.736	-1839.249	3373.38	Tidak ada
Oil Consumption	1029.257	-865.136	1879.549	Tidak ada
Natural Gas Consumption	36.213	-34.583	61.985	Tidak ada
GDP Growth	4.532	-5.44	6.645	Tidak ada

Sumber data Rangkuman Perhitungan IQR (diolah penulis)

Setelah analisis deskriptif, penelitian dilanjutkan dengan analisis inferensial menggunakan regresi linear berganda untuk mengukur pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen (Ghozali, 2018). Model regresi dilatih dengan data yang telah dipartisi, dan hasilnya menunjukkan bahwa *Natural Gas Consumption* (X2) dan *Oil Consumption* (X3) memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel dependen (*CO2 Emissions*). Model ini kemudian diterapkan pada data uji untuk mengevaluasi kemampuannya dalam memprediksi variabel dependen berdasarkan variabel independen.

2. Uji Parsial

Rows: 5 | Columns: 5

☐	#	RowID	Variable String	Coeff. Number (double)	Std. Err. Number (double)	t-value Number (double)	P> t Number (double)
☐	1	Row1	Penerimaan Pajak	0.002	0.002	0.98	0.383
☐	2	Row2	Natural Gas Consu	1.997	0.121	16.529	0
☐	3	Row3	Oil Consumption (	0.127	0.005	24.558	0
☐	4	Row4	GDP Growth	-1.243	0.742	-1.675	0.169
☐	5	Row5	Intercept	5.294	2.004	2.641	0.057

Sumber data <https://data.worldbank.org> dan <https://www.bp.com> (diolah penulis)

Hasil analisis regresi linear menunjukkan bahwa tidak semua variabel dalam penelitian ini memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel dependen. Pengujian dilakukan menggunakan uji parsial (t-test) dengan membandingkan nilai P-value masing-masing variabel terhadap tingkat signifikansi $\alpha = 0.05$.

Berdasarkan hasil pengujian, variabel *Carbon Tax Revenue* (X1) memiliki P-value 0.383 (>0.05), sehingga variabel ini tidak memiliki pengaruh yang signifikan, sehingga gagal menolak hipotesis nol (H_0). Dengan kata lain, kebijakan pajak karbon tidak terbukti secara langsung mempengaruhi variabel dependen dalam penelitian ini.

Sebaliknya, *Natural Gas Consumption* (X2) dan *Oil Consumption* (X3) menunjukkan P-value 0.000 (<0.05), sehingga kedua variabel ini memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen, sehingga hipotesis alternatif (H_2 dan H_3) diterima. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan konsumsi gas alam dan minyak bumi berkorelasi erat dengan perubahan pada variabel dependen.

Sementara itu, *GDP Growth* (X4) memiliki P-value 0.169 (>0.05), sehingga gagal menolak H_0 . Ini berarti bahwa pertumbuhan ekonomi dalam penelitian ini tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen, sehingga faktor ekonomi tidak menjadi penentu utama dalam model yang digunakan. Hasil ini sejalan dengan fakta bahwa konsumsi gas alam (NG) dan minyak bumi (O) berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon, mengingat keduanya merupakan bahan bakar fosil yang menghasilkan karbon dioksida (CO_2) ketika dibakar.

Korelasi yang cukup tinggi dan positif antara kedua variabel ini menunjukkan bahwa ketika harga minyak bumi naik, konsumsi gas alam cenderung meningkat, dan sebaliknya. Hal ini disebabkan oleh sifat komplementer dari minyak bumi dan gas alam yang sering digunakan secara bersamaan dalam sektor industri dan pembangkit listrik. Lebih lanjut, hubungan antara konsumsi minyak bumi dan gas alam juga dapat dipengaruhi oleh faktor eksternal lainnya, seperti krisis energi, kebijakan energi, serta cadangan sumber daya alam yang tersedia. Dengan demikian, perubahan dalam faktor-faktor ini dapat mempengaruhi pola konsumsi energi serta dampaknya terhadap emisi karbon.

3. Uji Simultan

Berdasarkan hasil analisis regresi, nilai R^2 dan Adjusted R^2 sebesar 0,63 menunjukkan bahwa 63% variasi emisi karbon dioksida (CO_2e Emission) dapat dijelaskan oleh variabel independen yang digunakan dalam model, yaitu penerimaan pajak karbon (ET), konsumsi gas alam (NG), konsumsi minyak bumi (O), dan pertumbuhan ekonomi (GDP Growth). Sementara itu, 37% variasi lainnya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model yang tidak diteliti dalam penelitian ini. Hasil ini menunjukkan bahwa Pajak karbon (ET), pertumbuhan PDB (GDP), penggunaan gas (NG) dan minyak bumi (O) secara simultan berpengaruh terhadap variabel dependen (CO_2e Emission) di 15 negara Uni Eropa.

Rows: 7 | Columns: 1

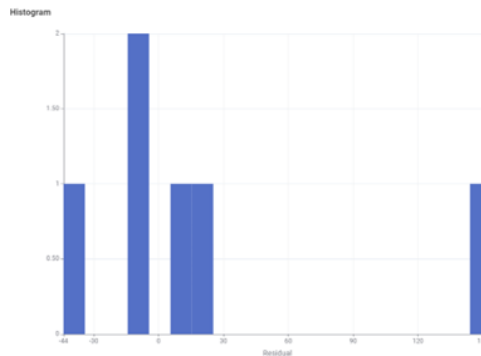
#	RowID	Prediction (CO2e Emissions Excl LULUCF) Number (double)
1	R ²	0.63
2	mean absolute error	40.96
3	mean squared error	4,391.923
4	root mean squared error	66.272
5	mean signed difference	-20.875
6	mean absolute percentage error	0.263
7	adjusted R ²	0.63

Sumber data <https://data.worldbank.org> dan <https://www.bp.com> (diolah penulis)

4. Uji Asumsi Klasik

Uji asumsi klasik merupakan syarat statistik yang harus dipenuhi dalam analisis regresi linear berganda yang menggunakan metode *Ordinary Least Square* (OLS). Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa model regresi yang dihasilkan memenuhi kriteria BLUE (Best-Linear-Unbiased-Estimator), sehingga estimasi yang diperoleh bersifat linear, tidak bias, dan memiliki efisiensi terbaik. Uji asumsi klasik terdiri dari normalitas, heteroskedastisitas, dan multikolinearitas. Di sisi lain, tidak ditemukan adanya autokorelasi karena data yang digunakan merupakan data *cross-section* tahun 2023.

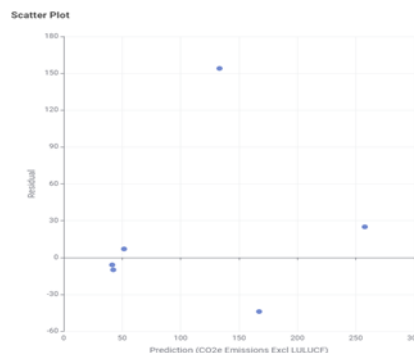
1.) Normalitas



Sumber data <https://data.worldbank.org> dan <https://www.bp.com> (diolah penulis)

Histogram ini tidak menunjukkan pola distribusi normal (*bell-shaped*). Sebaliknya, residual tersebar secara tidak merata dengan adanya beberapa lonjakan di titik-titik tertentu. Ini mengindikasikan bahwa asumsi normalitas pada regresi tidak terpenuhi.

2.) Heteroskedastisitas



Sumber data <https://data.worldbank.org> dan <https://www.bp.com> (diolah penulis)

Scatter plot ini menunjukkan hubungan antara residual dengan nilai prediksi (*CO2e Emissions Excl LULUCF*). Residual tersebar secara tidak merata, ada titik-titik residual yang sangat jauh dari nol (*outlier*) terutama di bagian prediksi yang lebih tinggi. Ada indikasi bahwa error lebih besar untuk nilai prediksi tertentu dibandingkan yang lain, yang dapat mengindikasikan heteroskedastisitas.

3.) Multikolinearitas

Dalam tabel, terlihat bahwa variabel *Natural Gas Consumption* memiliki korelasi sebesar 0.877 dengan *CO2e Emissions Excl LULUCF*, sementara *Oil Consumption* memiliki korelasi 0.921 dengan *CO2e Emissions Excl LULUCF* dan 0.917 dengan *Natural Gas Consumption*. Nilai korelasi yang sangat tinggi ($> 0,90$) ini menunjukkan bahwa variabel-variabel tersebut mungkin mengandung informasi yang serupa, sehingga jika digunakan bersama dalam

model regresi, mereka dapat saling mempengaruhi dan menyebabkan ketidakstabilan hasil estimasi.

#	RowID	First column name String	Second column name String	Correlation value Number (double)	p value Number (double)	Degrees of freedom Number (integer)
1	Row0	CO2e Emissions Excl LULU	Penerimaan Pajak Karbon	0.352	0.198	13
2	Row1	CO2e Emissions Excl LULU	Natural Gas Consumption (	0.877	0	13
3	Row2	CO2e Emissions Excl LULU	Oil Consumption (barrels)	0.921	0	13
4	Row3	CO2e Emissions Excl LULU	GDP Growth	0.168	0.551	13
5	Row4	Penerimaan Pajak Karbon	Natural Gas Consumption (	0.262	0.346	13
6	Row5	Penerimaan Pajak Karbon	Oil Consumption (barrels)	0.443	0.098	13
7	Row6	Penerimaan Pajak Karbon	GDP Growth	-0.018	0.948	13
8	Row7	Natural Gas Consumption (	Oil Consumption (barrels)	0.917	0	13
9	Row8	Natural Gas Consumption (	GDP Growth	0.127	0.652	13
10	Row9	Oil Consumption (barrels)	GDP Growth	0.236	0.398	13

Sumber data <https://data.worldbank.org> dan <https://www.bp.com> (diolah penulis)

Selain itu, terdapat korelasi sedang antara Penerimaan Pajak Karbon dan *Oil Consumption* sebesar 0.443, serta antara *CO2e Emissions Excl LULUCF* dan Penerimaan Pajak Karbon sebesar 0.352, meskipun keduanya tidak terlalu mengkhawatirkan dibandingkan korelasi yang sangat tinggi sebelumnya. Sementara itu, variabel *GDP Growth* tidak menunjukkan korelasi yang signifikan dengan variabel lain, sehingga tidak menjadi perhatian utama dalam analisis multikolinearitas ini.

5. Interpretasi Koefisien Variabel

#	RowID	Variable String	Coeff. Number (double)	Std. Err. Number (double)	t-value Number (double)	P> t Number (double)
1	Row1	Penerimaan Pajak Karbon	0.002	0.002	0.98	0.383
2	Row2	Natural Gas Consumption (	1.997	0.121	16.529	0
3	Row3	Oil Consumption (barrels)	0.127	0.005	24.558	0
4	Row4	GDP Growth	-1.243	0.742	-1.675	0.169
5	Row5	Intercept	5.294	2.004	2.641	0.057

Sumber data <https://data.worldbank.org> dan <https://www.bp.com> (diolah penulis)

$$CO_2e = 5.294 + 0.002 ET + 1.997 NG + 0.127 O - 1.243 GDP + \varepsilon$$

- Setiap peningkatan 1 juta dolar dalam Penerimaan Pajak Karbon hanya meningkatkan CO₂ Emission sebesar 0.002 satuan dengan asumsi variabel lain tetap (*ceteris paribus*)
- Setiap peningkatan 1 miliar meter kubik dalam konsumsi gas alam akan meningkatkan emisi CO₂ sebesar 1.997 satuan dengan asumsi variabel lain tetap (*ceteris paribus*)
- Setiap peningkatan 1 ribu barel konsumsi minyak meningkatkan emisi CO₂ sebesar 0.127 satuan dengan asumsi variabel lain tetap (*ceteris paribus*)
- Setiap peningkatan 1% pertumbuhan PDB akan mengurangi CO₂ Emission sebesar 1.243 satuan dengan asumsi variabel lain tetap (*ceteris paribus*)

Pengaruh Minyak Bumi terhadap Emisi Karbon

Minyak bumi merupakan sumber energi utama bagi berbagai sektor, tetapi penggunaannya meningkatkan emisi karbon. Setiap pembakaran minyak bumi menghasilkan CO₂, dengan analisis regresi menunjukkan bahwa peningkatan konsumsi 1.000 barel minyak meningkatkan emisi CO₂ sebesar 0,127 satuan. Studi Sadr et al. (2022) juga menemukan bahwa peningkatan konsumsi minyak bumi 1% dapat menaikkan emisi karbon hingga 0,56%.

Meskipun teknologi pembakaran semakin efisien, konsumsi minyak tetap tinggi, terutama di sektor transportasi dan industri. Selain itu, ketergantungan global pada minyak bumi masih kuat akibat keterbatasan infrastruktur energi terbarukan.

Pengaruh Gas Alam terhadap Emisi Karbon

Gas alam dianggap lebih ramah lingkungan dibandingkan minyak bumi dan batu bara, tetapi tetap menghasilkan CO₂ saat dibakar. Uni Eropa telah mengganti batu bara dengan gas alam, tetapi konsumsi besar tetap menyumbang emisi karbon global 20-25% (IEA). Tantangan lain adalah kebocoran metana dalam ekstraksi dan distribusi, yang memiliki potensi pemanasan global 25 kali lebih besar dari CO₂ (Howarth et al., 2019). Dengan demikian, meskipun lebih bersih, gas alam tetap berkontribusi terhadap perubahan iklim.

Pengaruh Pajak Karbon terhadap Emisi Karbon

Hasil regresi menunjukkan bahwa pajak karbon tidak signifikan dalam menurunkan emisi. Banyak industri mengatasi pajak ini dengan efisiensi energi atau pengalihan biaya ke konsumen (Arlinghaus, 2015). Efektivitas pajak juga bergantung pada besaran tarifnya; tarif rendah cenderung kurang mendorong pengurangan emisi (Martin et al., 2014). Dampaknya lebih terlihat dalam jangka panjang (Metcalf & Stock, 2020) dan sering kali dikombinasikan dengan subsidi energi terbarukan (Andersson, 2019), sehingga dampak langsungnya terhadap konsumsi bahan bakar fosil terbatas.

Pengaruh Pertumbuhan PDB terhadap Emisi Karbon

Secara teori, pertumbuhan PDB meningkatkan konsumsi energi dan emisi karbon, tetapi hubungan ini tidak selalu signifikan. Negara maju seperti Inggris dan Jerman telah beralih ke sektor jasa dan teknologi yang lebih bersih, mengurangi emisi meskipun GDP meningkat (Stern, 2004). Sebaliknya, negara berkembang seperti India dan Indonesia masih bergantung pada energi berbasis fosil, sehingga pertumbuhan ekonomi justru akan meningkatkan emisi (Wang et al., 2017). Dalam jangka panjang, investasi energi bersih dapat mengurangi dampak ekonomi terhadap emisi karbon.

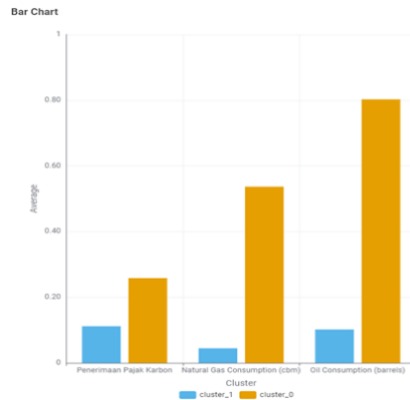
Clustering Data

Penelitian ini juga mengaplikasikan algoritma K-Means untuk membentuk cluster dengan memanfaatkan aplikasi KNIME. Proses clustering dimulai dengan *normalizer*, yaitu membuat data menjadi rentang antara 0-1. Hal ini digunakan untuk mengatasi perbedaan skala antar fitur dalam dataset, di mana beberapa fitur mungkin memiliki rentang nilai yang lebih besar dibandingkan yang lain. Kemudian, proses clustering dilanjutkan dengan menentukan jumlah cluster yang optimal, yaitu k, menggunakan metode *optimized k-means* berdasarkan rata-rata *silhouette coefficient* tertinggi. Variabel yang digunakan dalam analisis ini meliputi variabel Pajak Karbon (ET), Penggunaan Gas Alam (NG), dan Penggunaan Minyak Bumi (O). Hasil analisis koefisien siluet menunjukkan bahwa dua cluster merupakan jumlah yang paling optimal, karena menghasilkan nilai mean silhouette coefficient tertinggi.

☐	#	RowID	k Number (integer)	Mean Silhouette Coefficient Number (double)
☐	1	Row0	2	0.56
☐	2	Row1	3	0.296
☐	3	Row2	4	0.198

Sumber data <https://data.worldbank.org> dan <https://www.bp.com> (diolah penulis)

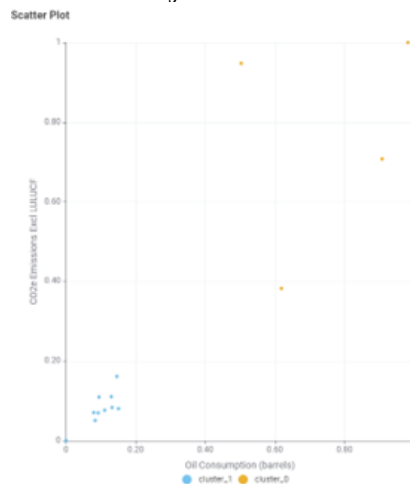
Setelah menentukan jumlah cluster yang optimal, data untuk variabel Pajak Karbon (ET), Penggunaan Gas Alam (NG), dan Penggunaan Minyak Bumi (O) kemudian dikelompokkan menggunakan algoritma K-Means. Hasilnya menunjukkan bahwa setiap data secara otomatis akan terklasifikasi ke dalam cluster_0 dan cluster_1. Hasil clustering dan hubungan antara variabel penerimaan pajak karbon (ET), minyak (oil), dan gas alam (NG) dapat dianalisis melalui visualisasi dalam bentuk bar chart berikut.



Sumber data <https://data.worldbank.org> dan <https://www.bp.com> (diolah penulis)

Dari grafik tersebut terlihat bahwa negara yang termasuk cluster_1 (biru) penerimaan pajak karbon (ET), konsumsi gas alam (NG), dan konsumsi minyak bumi (oil) yang terlihat lebih rendah jika dibandingkan dengan negara yang termasuk cluster_0 (jingga). Hal ini menunjukkan adanya perbedaan signifikan dalam penggunaan kedua sumber daya energi tersebut antara kedua cluster. Negara-negara dalam cluster_1 cenderung memiliki pola konsumsi yang lebih terbatas terhadap gas alam dan minyak bumi, sementara negara dalam cluster_0 tampaknya lebih bergantung pada kedua sumber daya ini, yang bisa mencerminkan perbedaan dalam faktor-faktor seperti tingkat industrialisasi, kebijakan energi, atau ketersediaan sumber daya alam.

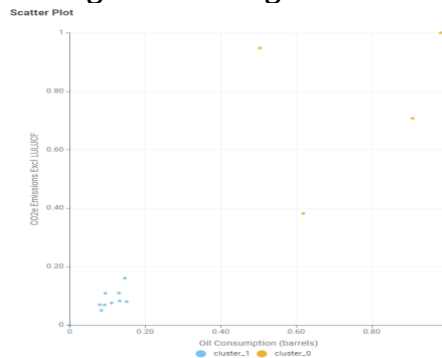
Hubungan cluster dengan konsumsi minyak bumi dan emisi CO₂e



Sumber data <https://data.worldbank.org> dan <https://www.bp.com> (diolah penulis)

Scatter plot di atas menggambarkan hubungan antara konsumsi minyak dan emisi CO₂e, dengan pembagian dua cluster. Pada cluster_1 yang ditandai dengan warna biru terdiri dari negara-negara dengan konsumsi minyak yang relatif rendah dan emisi CO₂e yang juga rendah. Sementara itu, cluster_0, yang ditandai dengan warna jingga, mencakup negara-negara dengan tingkat konsumsi minyak yang lebih tinggi serta emisi CO₂e yang lebih beragam. Pola ini menunjukkan adanya tren positif di mana peningkatan konsumsi minyak cenderung berbanding lurus dengan peningkatan emisi karbon. Selain itu, distribusi titik data memperlihatkan polarisasi yang cukup jelas antara negara dengan konsumsi dan emisi rendah serta negara dengan konsumsi dan emisi tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan minyak sebagai sumber energi memainkan peran signifikan dalam kontribusi terhadap emisi karbon global, dengan negara-negara berkonsumsi minyak tinggi memiliki potensi dampak lingkungan yang lebih besar.

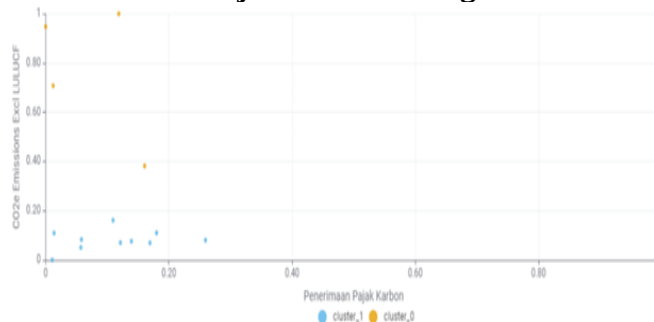
Clustering: Hubungan konsumsi gas alam dengan emisi CO₂e



Sumber data <https://data.worldbank.org> dan <https://www.bp.com> (diolah penulis)

Scatter plot di atas menunjukkan hubungan antara konsumsi gas dan emisi CO₂e, dengan pembagian dua cluster. Pada cluster₁ yang ditandai dengan warna biru, terdiri dari negara-negara dengan konsumsi gas yang relatif rendah dan emisi CO₂e yang juga rendah. Titik-titik dalam cluster ini terkonsentrasi di bagian kiri bawah grafik, menunjukkan bahwa konsumsi gas yang lebih kecil cenderung berasosiasi dengan tingkat emisi yang lebih rendah. Sementara itu, pada cluster₀ yang ditandai dengan warna jingga, tersebar di bagian kanan atas grafik, mencerminkan entitas dengan tingkat konsumsi gas yang lebih tinggi dan emisi CO₂e yang lebih bervariasi. Beberapa titik dalam kelompok ini menunjukkan emisi yang sangat tinggi, meskipun tingkat konsumsi gasnya tidak selalu yang tertinggi, mengindikasikan bahwa faktor lain yang dapat berperan dalam menentukan tingkat emisi. Secara keseluruhan, pola dalam scatter plot ini menunjukkan adanya korelasi positif antara konsumsi gas dan emisi CO₂e, di mana peningkatan konsumsi gas cenderung diikuti oleh peningkatan emisi karbon, meskipun dengan beberapa variasi antar negara.

Clustering: Hubungan Penerimaan Pajak Karbon Dengan Emisi CO₂e



Sumber data <https://data.worldbank.org> dan <https://www.bp.com> (diolah penulis)

Scatter plot di atas menunjukkan hubungan antara pajak karbon dan emisi CO₂e, dengan pembagian dua cluster. Negara yang berada di cluster₁ yang cenderung memiliki tingkat emisi karbon rendah (di bawah 0,2) meskipun penerimaan pajak karbon bervariasi hingga sekitar 0,4. Hal ini menunjukkan bahwa negara-negara dalam cluster₁ mampu menjaga emisi karbon tetap rendah yang dipengaruhi dari efektivitas pajak karbon sendiri. Sedangkan pada cluster₀ yang terdiri negara Spain, France, United Kingdom, Netherlands, dan Poland memiliki emisi karbon yang cenderung tinggi daripada cluster₀. Namun, sebagian besar pada cluster ini memiliki penerimaan pajak karbon yang sangat rendah kecuali satu titik di ujung kanan dengan penerimaan pajak karbon tinggi tetapi emisinya tetap tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan pajak karbon belum efektif menurunkan emisi di cluster₀ karena masih terdapat ketergantungan pada bahan bakar fosil atau kebijakan negaranya kurang ketat.

Langkah Tepat bagi Indonesia dalam Penerapan Pajak Karbon Berdasarkan Kajian Dampak Emisi Karbon di Uni Eropa

Penerapan pajak karbon merupakan salah satu kebijakan lingkungan yang bertujuan untuk mengurangi emisi karbon dengan memberikan disinsentif terhadap penggunaan bahan bakar fosil. Berdasarkan hasil analisis di Uni Eropa, ditemukan bahwa pajak karbon memiliki korelasi yang lemah terhadap konsumsi energi fosil dan hampir tidak berhubungan dengan pertumbuhan ekonomi. Temuan ini mengindikasikan bahwa efektivitas pajak karbon dalam menekan emisi karbon sangat bergantung pada faktor-faktor lain, seperti kebijakan energi yang lebih ketat serta ketersediaan alternatif energi terbarukan.

Hasil clustering menunjukkan bahwa negara-negara yang memiliki emisi karbon rendah cenderung telah menerapkan pajak karbon secara lebih efektif. Sebaliknya, beberapa negara dengan emisi tinggi masih menunjukkan ketergantungan pada bahan bakar fosil meskipun telah menerapkan pajak karbon. Hal ini menunjukkan bahwa pajak karbon saja tidak cukup untuk menurunkan emisi secara signifikan, tetapi harus didukung oleh kebijakan energi yang komprehensif. Indonesia perlu mengantisipasi tantangan ini dengan tidak hanya mengandalkan pajak karbon sebagai satu-satunya instrumen pengurangan emisi. Sebagai negara yang masih bergantung pada energi fosil, Indonesia harus mengintegrasikan kebijakan pajak karbon dengan insentif bagi penggunaan energi terbarukan, pengembangan teknologi hijau, serta regulasi ketat terhadap sektor industri yang memiliki emisi tinggi.

Dalam penelitian ini akan menjawab bagaimana langkah yang tepat untuk Indonesia dengan mengkaji dampak emisi karbon di Uni Eropa. Hal tersebut menjadi penting mengingat upaya transisi menuju energi yang lebih bersih menjadi langkah krusial dalam mengurangi kontribusi sektor energi terhadap pemanasan global. Berdasarkan temuan di Uni Eropa, terdapat beberapa langkah yang dapat diadaptasi oleh Indonesia untuk memastikan efektivitas pajak karbon:

1. Diferensiasi Tarif Pajak Karbon

Negara-negara Uni Eropa yang lebih berhasil dalam mengurangi emisi cenderung menerapkan tarif pajak yang lebih tinggi dan lebih merata pada berbagai sektor ekonomi. Indonesia dapat mempertimbangkan penerapan tarif pajak yang lebih tinggi untuk sektor industri berat dan energi, sambil memberikan keringanan bagi sektor yang lebih ramah lingkungan.

2. Reinvestasi Pendapatan Pajak Karbon

Uni Eropa menunjukkan bahwa efektivitas pajak karbon meningkat jika pendapatannya dialokasikan kembali untuk subsidi energi terbarukan atau investasi dalam teknologi hijau. Indonesia dapat mengadopsi strategi serupa dengan mengalokasikan sebagian besar pendapatan pajak karbon untuk mendukung penelitian dan pengembangan energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, dan biomassa.

3. Penguatan Regulasi dan Pengawasan

Negara-negara Uni Eropa yang berhasil menurunkan emisi karbon tidak hanya mengandalkan pajak karbon, tetapi juga menerapkan regulasi ketat terkait batas emisi bagi industri. Indonesia perlu menetapkan standar emisi yang lebih ketat dan memperkuat mekanisme pemantauan untuk memastikan kepatuhan terhadap kebijakan yang telah diterapkan.

4. Transisi Energi yang Terencana

Hasil analisis menunjukkan bahwa negara-negara yang tergabung dalam cluster dengan emisi karbon rendah cenderung memiliki pola konsumsi energi fosil yang lebih terbatas. Indonesia perlu menyusun roadmap transisi energi yang jelas, dengan target jangka pendek, menengah, dan panjang untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil secara bertahap.

5. Dukungan bagi Industri dan Masyarakat

Pajak karbon dapat meningkatkan biaya produksi bagi industri dan harga energi bagi masyarakat. Oleh karena itu, Indonesia perlu menyediakan insentif bagi industri yang berinvestasi dalam teknologi hijau serta memberikan kompensasi atau subsidi bagi kelompok masyarakat yang terdampak agar kebijakan ini tidak menimbulkan beban ekonomi yang berat.

Berdasarkan pembelajaran dari Uni Eropa, Indonesia perlu merancang kebijakan pajak karbon yang tidak hanya berfungsi sebagai instrumen fiskal, tetapi juga sebagai bagian dari strategi transisi menuju ekonomi rendah karbon. Kebijakan ini harus diiringi dengan investasi dalam energi terbarukan, regulasi emisi yang lebih ketat, serta dukungan bagi industri dan masyarakat agar dapat beradaptasi dengan perubahan kebijakan ini. Selain itu, pemerintah perlu memastikan adanya koordinasi antar kementerian dan lembaga terkait, serta meningkatkan kesadaran publik mengenai urgensi pengurangan emisi karbon. Dengan pendekatan yang lebih komprehensif, penerapan pajak karbon di Indonesia dapat lebih efektif dalam menekan emisi karbon tanpa menghambat pertumbuhan ekonomi secara signifikan.

SIMPULAN

Penggunaan gas alam (NG) dan minyak bumi (O) memiliki pengaruh signifikan terhadap emisi karbon (CO₂) di 15 negara Eropa sepanjang tahun 2023. Temuan ini mengindikasikan bahwa faktor utama yang berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon adalah konsumsi kedua sumber energi fosil tersebut, sementara kebijakan pajak karbon tidak terbukti efektif dalam menurunkan emisi secara signifikan. Analisis clustering lebih lanjut mengungkapkan pola yang jelas, di mana negara-negara dengan tingkat konsumsi minyak bumi dan gas alam yang lebih tinggi cenderung menghasilkan emisi karbon yang lebih besar, sedangkan negara dengan konsumsi yang lebih rendah menunjukkan pengendalian emisi yang lebih baik. Oleh karena itu, transisi menuju energi bersih dan pengurangan ketergantungan pada energi fosil menjadi langkah yang sangat penting untuk mengurangi kontribusi sektor energi terhadap pemanasan global.

Penerapan pajak karbon di Uni Eropa menunjukkan bahwa meskipun kebijakan ini dapat mengurangi konsumsi bahan bakar fosil, dampaknya terhadap pengurangan emisi karbon terbatas tanpa dukungan kebijakan energi yang komprehensif, seperti pengembangan energi terbarukan dan penerapan regulasi yang ketat. Negara-negara yang berhasil menurunkan emisi karbon biasanya memberlakukan tarif pajak yang lebih tinggi dan merata, serta memanfaatkan pendapatan pajak untuk mendanai proyek energi terbarukan. Untuk Indonesia, yang masih sangat bergantung pada energi fosil, diperlukan pendekatan yang lebih luas, yang mengintegrasikan pajak karbon dengan kebijakan energi yang mendukung transisi ke energi terbarukan, pengurangan subsidi bahan bakar fosil, serta pembangunan infrastruktur kendaraan listrik dan pembangkit energi terbarukan. Hal ini akan mendukung pencapaian ekonomi rendah karbon yang berkelanjutan dan mengurangi dampak perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, R. N., Majid, J., & Suhartono, S. (2020). Carbon tax: Alternatif kebijakan pengurangan external diseconomies emisi karbon. *ISAFIR: Islamic Accounting and Finance Review*, 1(2), 48-66. <https://doi.org/10.24252/isafir.v1i2.17603>
- Alper, A. E. (2017). Analysis of carbon tax on selected European countries: Does carbon tax reduce emissions? *Applied Economics and Finance*, 5(1), 29-36. <https://doi.org/10.11114/aef.v5i1.2843>

- Al-Mulali, U., & Ozturk, I. (2016). The investigation of environmental Kuznets curve hypothesis in the advanced economies: The role of energy prices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1622-1631. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.131>
- Andersson, J. J. (2019). Carbon taxes and CO₂ emissions: Sweden as a case study. *American Economic Journal: Economic Policy*, 11(4), 1-30. <https://doi.org/10.1257/pol.20170144>
- Arlinghaus, J. (2015). Impacts of carbon prices on indicators of competitiveness: A review of empirical findings. *OECD Environment Working Papers*, (87), 1-38. <https://doi.org/10.1787/5js37p21grzq-en>
- Handayani, L. T. (2023). *Buku ajar implementasi teknik analisis data kuantitatif (penelitian kesehatan)*. PT. Scifintech Andrew Wijaya.
- Kaya, A., & Yilmaz, S. (2020). The impact of renewable energy consumption on carbon emissions: An empirical analysis for the European Union countries. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120563. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120563>
- Kusumawati, R., & Akhmadi, M. H. (2023). The effect of carbon taxes, fossil fuel use, and GDP growth on carbon emissions. *Journal of Global Business and Management Review*, 5(2), 98-107. <https://doi.org/10.37253/jgbmr.v5i2.8893>
- Markandya, A. (2012). Environmental taxation: What have we learnt in the last 30 years? *Environmental taxes and fiscal reform*, 9-56.
- Martin, R., de Preux, L. B., & Wagner, U. J. (2014). The impact of a carbon tax on manufacturing: Evidence from microdata. *Journal of Public Economics*, 117, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2014.04.016>
- Metcalf, G. E., & Stock, J. H. (2020). Measuring the macroeconomic impact of carbon taxes. *American Economic Association Papers & Proceedings*, 110, 101-106. <https://doi.org/10.1257/pandp.20201082>
- Purwanto, A., Asbari, M., & Santoso, T. I. (2021). Analisis data penelitian sosial dan manajemen: Perbandingan hasil antara Amos, SmartPLS, WarpPLS, dan SPSS untuk jumlah sampel medium. *International Journal of Social and Management Studies*, 2(4), 43-53.
- Rezaei Sadr, N., Bahrdo, T., & Taghizadeh, R. (2022). Impacts of Paris Agreement, fossil fuel consumption, and net energy imports on CO₂ emissions: A panel data approach for three West European countries. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24(5), 1521-1534. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02264-z>
- Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World Development*, 32(8), 1419-1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- Wang, Q., Hubacek, K., Feng, K., & Wei, Y.-M. (2017). The drivers of global energy-related CO₂ emissions 2000–2014. *Nature Communications*, 8(1), 139. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01692-8>
- Zhiqiang, Z., Jiansheng, Q., & Jingjing, Z. (2008). A quantitative comparison and analysis on the assessment indicators of greenhouse gases emission. *Journal of Geographical Sciences*, 18(4), 387-399. <https://doi.org/10.1007/s11442-008-0387-8>
- Zhao, Y. H. (2011). The study of effect of carbon tax on the international competitiveness of energy-intensive industries: An empirical analysis of OECD 21 countries, 1992-2008. *Energy Procedia*, 5, 1291-1302. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.225>