

Pendekatan Metode Partisi, Hierarki, Dan Densitas Dalam Pengelompokan Provinsi Di Indonesia Berdasarkan Indeks Ekonomi Hijau Tahun 2023

Fat'hul Mubin Gufron, Innas Khoirun Chisan, Almira Utami, Nur Yudha Jati Prakoso, Fitri Kartiasih



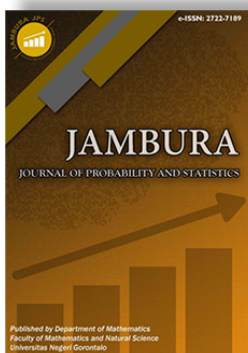
Volume 6, Issue 2, Pages 56–63, November 2025

Received 30 September 2024, Revised 23 April 2025, Accepted 09 July 2025, Published Online 30 November 2025

To Cite this Article : Fat'hul Mubin Gufron, Innas Khoirun Chisan, Almira Utami, Nur Yudha Jati Prakoso, Fitri Kartiasih, " Pendekatan Metode Partisi, Hierarki, Dan Densitas Dalam Pengelompokan Provinsi Di Indonesia Berdasarkan Indeks Ekonomi Hijau Tahun 2023 ", *Jambura J. Probab. Stat.*, vol. 6, no. 2, pp. 56–63, 2025, <https://doi.org/10.34312/jjps.v6i2.27734>

© 2025 by author(s)

JOURNAL INFO • JAMBURA JOURNAL OF PROBABILITY AND STATISTICS



	Homepage	:	https://ejournal.ung.ac.id/index.php/jps/index
	Journal Abbreviation	:	Jambura J. Probab. Stat.
	Frequency	:	Biannual (May and November)
	Publication Language	:	English (preferable), Indonesia
	DOI	:	https://doi.org/10.34312/jjps
	Online ISSN	:	2722-7189
	Editor-in-Chief	:	Ismail Djakaria
	Publisher	:	Department of Mathematics, Universitas Negeri Gorontalo
	Country	:	Indonesia
	OAI Address	:	http://ejournal.ung.ac.id/index.php/jps/oai
	Google Scholar ID	:	kWdujzMAAAJ
	Email	:	redaksi.jjps@ung.ac.id

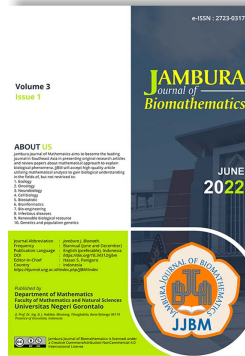
JAMBURA JOURNAL • FIND OUR OTHER JOURNALS



Jambura Journal of Mathematics



Jambura Journal of Mathematics Education



Jambura Journal of Biomathematics



EULER : Jurnal Ilmiah Matematika, Sains, dan Teknologi

Pendekatan Metode Partisi, Hierarki, dan Densitas dalam Pengelompokan Provinsi Di Indonesia Berdasarkan Indeks Ekonomi Hijau Tahun 2023

Fat'hul Mubin Gufron¹, Innas Khoirun Chisan¹, Almira Utami¹, Nur Yudha Jati Prakoso¹, Fitri Kartiasih^{1*}

¹ Politeknik Statistika STIS, Jakarta

ARTICLE HISTORY

Received 30 September 2024

Revised 23 April 2025

Accepted 09 July 2025

Published 30 November 2025

KATA KUNCI

clustering
Ekonomi hijau
Metode Partisi
Metode Hierarki
Metode Densitas.

KEYWORDS

Clustering
Green Economy
Partition Method
Hierarchical Method
Density Method.

ABSTRAK. Pembangunan ekonomi berkelanjutan yang tetap menjaga keseimbangan lingkungan menjadi prioritas utama dalam perencanaan pembangunan nasional Indonesia. Salah satu indikator utama untuk mengukur keberlanjutan tersebut adalah Indeks Ekonomi Hijau (Green Economy Index/GEI). Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) mengukur pembangunan ekonomi hijau dengan 15 indikator yang mencakup 3 pilar, yaitu ekonomi, sosial, dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan provinsi di Indonesia berdasarkan Indeks Ekonomi Hijau. Metode clustering yang digunakan meliputi pendekatan partisi (K-Means, K-Medoids), hierarki (agglomerative clustering), dan densitas (OPTICS). Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengelompokan menggunakan validitas internal dan stabilitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode hierarki average linkage memberikan performa clustering yang paling optimal dibanding metode lainnya dengan pembagian provinsi ke dalam tiga kelompok utama. Setiap kelompok menunjukkan karakteristik GEI yang berbeda-beda, mencerminkan disparitas dalam pencapaian pembangunan hijau antardaerah. Hasil pengelompokan menunjukkan kluster 1 berisi 1 provinsi dengan pilar ekonomi yang tinggi namun pilar lingkungan sangat rendah, kluster 2 berisi 5 provinsi yang unggul dalam pilar lingkungan tetapi tertinggal dalam pilar ekonomi, serta kluster 3 berisi 32 provinsi dengan karakteristik yang beragam dalam praktik ekonomi hijau. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pemerintah pusat dan daerah dalam merumuskan kebijakan yang lebih terarah dan spesifik untuk mendorong pembangunan ekonomi hijau secara merata.

ABSTRACT. Sustainable economic development that maintains environmental balance is a top priority in Indonesia's national development planning. One of the key indicators to measure this sustainability is the Green Economy Index (GEI). The Ministry of National Development Planning (Bappenas) assesses green economic development using 15 indicators across three pillars: economic, social, and environmental. This study aims to cluster Indonesian provinces based on the GEI. The clustering methods used include partition-based approaches (K-Means, K-Medoids), hierarchical (agglomerative clustering), and density-based (OPTICS), with evaluation based on internal validity and stability. The results show that the hierarchical average linkage method provides the most optimal clustering performance, dividing provinces into three main groups. Each cluster reflects different GEI characteristics, highlighting disparities in green development achievements across regions. Cluster 1 consists of one province with high economic scores but very low environmental scores; Cluster 2 includes five provinces strong in environmental performance but weak economically; and Cluster 3 contains 32 provinces with diverse characteristics in green economic practices. These findings are expected to support more targeted and region-specific policy formulation to promote equitable green economic development.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. Editorial of JJPS: Department of Statistics, Universitas Negeri Gorontalo, Jln. Prof. Dr. Ing. B. J. Habibie, Bone Bolango 96554, Indonesia.

1. Pendahuluan

Aktivitas manusia terutama dalam sektor ekonomi bertujuan untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat, tetapi dapat menyebabkan perubahan iklim. Hal ini terjadi akibat peningkatan konsentrasi emisi yang menghambat pantulan energi sinar matahari dari bumi sehingga meningkatkan suhu permukaan bumi [1] Emisi yang dihasilkan dari kegiatan ekonomi dapat mencekamari lingkungan [2]. Pembakaran batu bara, minyak, atau gas

sebagai pembangkit energi listrik merupakan salah satu aktivitas yang menghasilkan emisi global dalam jumlah besar karena menyisakan karbon dioksida dan dinitrogen oksida [3]. Perubahan iklim dapat menyebabkan kekeringan berkepanjangan dan cuaca ekstrem [4], penurunan produksi dan harga pangan [5], peningkatan gelombang panas dan pengasaman laut yang menyebabkan stres fisiologis bagi organisme dan ekosistem [6], serta mengganggu kesehatan masyarakat akibat meningkatnya polusi udara [7]. Perubahan iklim dan menurunnya daya dukung

*Corresponding Author.

lingkungan dapat berdampak negatif terhadap pencapaian target pertumbuhan ekonomi [8].

Anomali suhu udara tahunan merupakan nilai yang dihasilkan dari selisih suhu udara tahun tertentu terhadap suhu udara rata-rata tahunan dengan periode 30 tahun. Berdasarkan data dari 116 stasiun pengamatan BMKG, anomali suhu udara rata-rata tahun 2023 adalah sebesar 0,5 oC. Angka tersebut membuat tahun 2023 menjadi peringkat ke-2 terpanas setelah tahun 2016 sepanjang pengamatan tahun 1981 – 2023 di Indonesia [9]. Hal tersebut merupakan dampak dari perubahan iklim akibat aktivitas industri, urbanisasi, dan konsumsi energi. Meskipun berkontribusi positif pada pertumbuhan ekonomi, hal tersebut mengakibatkan munculnya berbagai permasalahan lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk menjaga keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi kesehatan lingkungan. Salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan menerapkan konsep ekonomi hijau [10].

Ekonomi hijau pertama kali diperkenalkan pada tahun 1984 oleh Pearce, Markandya, dan Barbier dalam bukunya “Blueprint for a Green Economy”. Mereka mendefinisikan ekonomi hijau sebagai kegiatan ekonomi yang meningkatkan kesejahteraan manusia dalam jangka panjang tanpa risiko kerusakan lingkungan dan kelangkaan ekologis yang signifikan [11]. Pada tahun 2008, United Nation Environment Programme (UNEP) meresmikan Green Economy Initiative untuk mendukung dan menganalisis kebijakan pada sektor ramah lingkungan dan meningkatkan keberlanjutan pada sektor yang belum ramah lingkungan. Ekonomi hijau merupakan ekonomi rendah karbon, efisien sumber daya, dan inklusif secara sosial [12].

Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) mengukur pembangunan ekonomi hijau dengan 15 indikator yang mencakup 3 pilar, yaitu ekonomi, sosial, dan lingkungan. Pilar ekonomi terdiri dari 6 indikator, yaitu intensitas emisi, intensitas energi, pendapatan nasional bruto (PNB) per kapita, tingkat produktivitas tenaga kerja pertanian, industri, dan jasa. Pilar sosial meliputi 4 indikator, yaitu tingkat pengangguran terbuka, tingkat kemiskinan, angka harapan hidup, dan rata-rata lama sekolah. Pada pilar lingkungan terdapat 5 indikator, yaitu tutupan lahan, lahan gambut terdegradasi, penurunan emisi, sampah terkelola, dan energi baru terbarukan. Indikator-indikator tersebut dinamakan Indeks Ekonomi Hijau (Green Economy Index/GEI) Indonesia yang diluncurkan pada tanggal 9 Agustus 2022 dalam forum 3rd DWG Meeting Side Event G20 di Bali. Penerapan Ekonomi Hijau merupakan salah satu upaya dalam mencapai target SDGs (Sustainable Development Goals). Pada pilar ekonomi terdapat 3 target SDGs yang akan tercapai, yaitu tidak ada kemiskinan, tidak ada kelaparan, serta adanya kesehatan dan kesejahteraan yang baik. Pada pilar sosial, terdapat 5 target SDGs yang diharapkan tercapai, yaitu pendidikan berkualitas, kesetaraan gender, mengurangi ketidaksetaraan antarwilayah, terciptanya perdamaian dan keadilan, serta terjalinnya kemitraan untuk mencapai tujuan. Adapun pada pilar lingkungan terdapat 5 target SDGs yang ingin dicapai, yaitu terciptanya kota dan komunitas yang berkelanjutan, tercukupinya konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab, mengurangi perubahan iklim, serta menjaga ekosistem laut dan daratan [13].

Program ekonomi hijau ini bertujuan untuk menciptakan pertumbuhan ekonomi yang maju dengan tetap menjaga lingkun-

gan dan kesejahteraan sosial. Analisis Bappenas menyatakan bahwa pertumbuhan ekonomi Indonesia minimal 6% untuk memenuhi visi 2045 [14]. Sementara itu, berdasarkan data BPS pada tahun 2023, pertumbuhan ekonomi Indonesia menurun 0,26% dibandingkan 2022 yang berada pada angka 5,31% [15]. Selain itu, terdapat korelasi positif antara pendapatan dengan kontribusinya terhadap emisi [16]. Beberapa provinsi yang memiliki pendapatan tertinggi justru rendah nilai indeks kualitas lingkungan hidupnya. Salah satunya yaitu Provinsi DKI Jakarta yang berada pada peringkat pertama pada kategori Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Atas Dasar Harga Berlaku menurut provinsi tahun 2022 justru berada pada peringkat terakhir berdasarkan kategori indeks kualitas lingkungan hidup. Indeks kualitas lingkungan hidup (IKLH) merupakan nilai komposit dari indeks Kualitas Air, Udara, Lahan, dan Laut yang menggambarkan kualitas lingkungan hidup dalam suatu wilayah tertentu [17]. Hal ini menunjukkan masih kurangnya kesadaran para pelaku ekonomi dalam menjaga kesehatan lingkungan. Menurut data BPS, terdapat beberapa provinsi yang memiliki perbedaan pertumbuhan ekonomi yang signifikan. Pertumbuhan ekonomi yang tidak merata ini tidak hanya mencerminkan perbedaan dalam perkembangan ekonomi, tetapi juga berpotensi menimbulkan ketidakmerataan penerapan ekonomi hijau. Oleh karena itu, diperlukan pengelompokan provinsi berdasarkan Indeks Ekonomi Hijau untuk mencapai tujuan SDGs ke-10 yaitu berkurangnya kesenjangan.

Penelitian ini memiliki tiga kontribusi dalam penerapan ekonomi hijau di Indonesia. Pertama, penelitian ini mengelompokkan provinsi di Indonesia berdasarkan Indeks Ekonomi Hijau. Hal tersebut dilakukan karena penerapan ekonomi hijau terbukti memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap peningkatan pendapatan negara [18], mengatasi perubahan iklim dan pemanasan global, mempengaruhi keberlanjutan industri batubara, serta dipengaruhi oleh penggunaan kendaraan listrik [19]. Selain itu, variabel yang mempengaruhi ekonomi hijau jangka pendek dan jangka panjang di Indonesia adalah listrik terbarukan, emisi karbon, populasi, konsumsi batu bara, dan keterbukaan perdagangan sedangkan variabel yang tidak mempengaruhi ekonomi hijau jangka pendek dan jangka panjang di Indonesia adalah investasi asing [20]. Kedua, penelitian ini menggunakan indikator penyusun Indeks Ekonomi Hijau yang diresmikan oleh Bappenas. Di Indonesia, terdapat penelitian lainnya yang mengelompokkan wilayah berdasarkan Indeks Ekonomi Hijau. Namun, penelitian tersebut menggunakan indikator GEI yang berbeda dengan Bappenas dengan metode t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding (t-SNE) yang menghasilkan 4 klaster pada tingkat kabupaten/kota [21]. Ketiga, penelitian ini membandingkan metode partisi, hierarki, dan densitas dalam membuat klaster. Perbandingan ketiga metode ini penting untuk memberikan informasi metode mana yang memiliki performa terbaik dalam mengelompokkan wilayah. Metode partisi yang digunakan adalah K-Means dan K-Medoids, metode hierarki yang dipilih adalah Agglomerative, dan metode densitas yang digunakan adalah OPTICS [22].

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji penggunaan metode clustering dalam mengelompokkan wilayah berdasarkan indikator pembangunan maupun lingkungan. Penelitian Emir Luthfi dan Wijayanto (2021) membandingkan metode Hierarchical, K-Means, dan K-Medoids dalam pengelom-

pokan wilayah berdasarkan IPM, dengan hasil terbaik pada K-Medoids [23]. Fitri Agustina dan Retha (2023) menggunakan metode Ward untuk mengelompokkan provinsi berdasarkan indeks lingkungan dalam kerangka ekonomi hijau [24]. Sementara itu, Noviandy et al. (2024) menerapkan K-Means untuk memetakan pembangunan berkelanjutan dan tantangan lingkungan antarprovinsi [25]. Namun, penelitian-penelitian tersebut belum membandingkan secara komprehensif berbagai pendekatan clustering utama—partisi, hierarki, dan densitas—dalam konteks ekonomi hijau. Selain itu, belum ada studi yang secara spesifik menggunakan Indeks Ekonomi Hijau versi Bappenas yang terdiri dari tiga pilar: lingkungan, ekonomi, dan sosial.

Tujuan penelitian ini untuk melihat kondisi perekonomian dan lingkungan di Indonesia, mengelompokkan provinsi di Indonesia berdasarkan Indeks Ekonomi Hijau (Green Economy Index/GEI) Indonesia sesuai dengan indikator-indikator yang diresmikan oleh Bappenas, serta membandingkan metode Partisi, Hierarki, dan Densitas dalam pengelompokan tersebut. Ketiga metode akan dibandingkan untuk mendapatkan metode terbaik menggunakan ukuran evaluasi validitas internal dan stabilitas. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk mempercepat penerapan ekonomi hijau pada provinsi-provinsi yang masih kurang memperhatikan dan menjaga lingkungan dalam menjalankan aktivitas ekonominya.

2. Metode Penelitian

2.1. Data dan Variabel Penelitian

Wilayah kajian yang dipilih pada penelitian ini adalah 38 provinsi di wilayah Indonesia tahun 2023. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sumber data Indikator Ekonomi Hijau yang dikeluarkan oleh Bappenas. Penelitian ini memanfaatkan dua aplikasi yaitu QGIS dan R. Indeks Ekonomi Hijau terdiri atas 15 indikator dimana indikator tersebut terbagi kedalam tiga pilar yaitu pilar lingkungan, pilar ekonomi, dan pilar sosial. Dari 15 indikator yang diterbitkan oleh Bappenas, pada penelitian ini hanya digunakan 13 indikator yang telah mewakili masing-masing pilar yang ada. Hal tersebut karena terdapat keterbatasan data pada indikator intensitas emisi, intensitas energi akhir, dan pendapatan nasional bruto per kapita pada level provinsi. Variabel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

2.2. Pra-pemrosesan Data

Data yang dikumpulkan berasal dari berbagai sumber dan mempunyai format penulisan yang berbeda sehingga data hasil pengumpulan tidak dapat digunakan secara langsung. Dalam data tersebut masih terdapat beberapa masalah di antaranya adalah data tidak lengkap, noise, dan data tidak konsisten. Pre-processing yang dilakukan meliputi data cleaning, data integration, dan data transformation. Data cleaning dilakukan dengan memeriksa missing value dan melakukan imputasi untuk mengisi missing value tersebut. Kemudian data dari berbagai sumber digabungkan untuk melihat apakah ada duplikasi pada data. Setelah pre-processing data, data harus distandarisasi terlebih dahulu karena penggunaan satuan yang berbeda.

2.3. Analisis Kluster

Analisis ini digunakan untuk mengelompokkan pengamatan dengan pengamatan lain yang mempunyai karakteristik serupa sehingga menghasilkan kelompok yang homogen di dalamnya tetapi heterogen antar kelompok lainnya. Secara umum, terdapat tiga jenis metode analisis kluster, yaitu metode partisi, hierarki, dan densitas.

2.3. Metode Partisi

Pada metode ini data akan dibagi menjadi beberapa subset yang tidak saling tumpang tindih. Metode pengelompokan yang digunakan adalah K-Means dan K-Medoids. Metode K-Means digunakan untuk mengelompokkan pengamatan sehingga menghasilkan jarak antar pengamatan dengan titik pusat kluster (centroid) yang paling minimum. Centroid selanjutnya dihitung dengan rata-rata setiap observasi pada kluster tersebut [26]. Seperti halnya dengan metode K-Means, metode K-Medoids juga bertujuan untuk mengelompokkan pengamatan agar jarak pengamatan ke titik pusat cluster sedekat mungkin. Perbedaannya, pada K-Medoids titik pusat cluster merupakan titik aktual dari data [22]. Proses pembentukan kluster pada algoritma K-Medoids yaitu sebagai berikut [27].

2.3. Metode Hierarki

Metode hierarki yang digunakan dalam penelitian ini adalah aglomerative (penggabungan) dimana pada awalnya seluruh observasi diasumsikan sebagai kluster tersendiri. Proses aglomerasi dilakukan dengan menggabungkan secara bertahap dua kluster yang mempunyai kemiripan paling tinggi [28]. Hasil dari proses pembentukan kluster pada metode hierarki dapat disajikan dalam bentuk dendrogram. Metode hierarki yang digunakan pada penelitian ini mencakup single linkage, complete linkage, average linkage, dan ward's method [29]. Pemilihan metode hierarki terbaik dilakukan menggunakan nilai koefisien korelasi cophenetic [30].

2.3. Metode Densitas

Metode ini mengelompokkan setiap observasi berdasarkan tingkat kerapatan objek. Salah satu metode Densitas Based Clustering yang terkenal adalah Densitas-Based Spatial Clustering of Application with Noise (DBSCAN). Namun, algoritma tersebut kurang cocok digunakan ketika data mempunyai kepadatan yang berbeda-beda karena jangkauan nilai epsilon yang digunakan konstan. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan algoritma Ordering Points to Identify the Clustering Structure (OPTICS). Algoritma OPTICS adalah metode pengelompokan berbasis kepadatan yang dapat mengidentifikasi kluster dengan berbagai tingkat kepadatan tanpa memerlukan parameter epsilon yang konstan. Reachability distance dibuat untuk memisahkan kluster dengan kepadatan yang bervariasi dari noise dengan mempertimbangkan jarak antar titik yang berdekatan. Jarak tersebut kemudian dibuat dalam bentuk reachability plot untuk semua titik pada dataset yang digunakan untuk mendeteksi kluster [31].

2.4. Evaluasi Hasil

1. Validitas Interval

a. Indeks Connectivity

Semakin kecil indeks Connectivity menunjukkan se-

Table 1. Variabel Penelitian

Variabel	Simbol	Deskripsi	Skala	Keterangan Kategori
Lingkungan	PTH	Persentase Tutupan Hutan	Rasio	Badan Pusat Statistik
	PET	Persentase energi terbarukan	Rasio	IESR
	PLD	Persentase limbah yang dikelola	Rasio	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
	PGRK	Persentase penurunan emisi Gas Rumah Kaca	Rasio	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
	IKEG	Indeks Kualitas Ekosistem Gambut	Rasio	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Ekonomi	PDRBP	Produk Domestik Regional Bruto per Kapita	Rasio	Badan Pusat Statistik
	PTKP	Produktivitas Tenaga Kerja Sektor Pertanian	Rasio	Badan Pusat Statistik
	PTKI	Produktivitas Tenaga Kerja Sektor Industri	Rasio	Badan Pusat Statistik
	PTKJ	Produktivitas Tenaga Kerja Sektor Jasa	Rasio	Badan Pusat Statistik
Sosial	RLS	Rata-rata lama sekolah	Rasio	Badan Pusat Statistik
	TK	Tingkat Kemiskinan	Rasio	Badan Pusat Statistik
	TP	Tingkat Pengangguran	Rasio	Badan Pusat Statistik
	UHH	Umur Harapan Hidup	Rasio	Badan Pusat Statistik

makin baik kluster yang terbentuk. Indeks ini memiliki rentang nilai antara 0 sampai tak hingga dan diperoleh dari perhitungan sebagai berikut:

$$Conn(C) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^L X_{i,nn_i(j)} \tag{1}$$

dimana, $nn_i(j)$ adalah pengamatan terdekat i ke j serta L adalah parameter jumlah tetangga yang diperhitungkan pada ukuran konektivitas [32].

b. Indeks Silhouette

Indeks Silhouette mengevaluasi hasil pengelompokan dengan mengukur derajat kepercayaan untuk pengamatan tertentu. Indeks ini mempunyai nilai antara -1 hingga 1 dan nilainya harus dimaksimalkan. Perhitungan Indeks Silhouette adalah sebagai berikut [32]:

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}} \tag{2}$$

dimana, $a(i)$ adalah rata-rata jarak observasi i dengan seluruh observasi lainnya pada kluster yang sama dan $b(i)$ adalah rata-rata jarak observasi i dengan observasi pada kluster terdekat.

c. Indeks Dunn

Indeks Dunn diperoleh dari perhitungan rasio jarak minimum antara observasi pada kluster yang berbeda dengan jarak maksimal pada masing-masing kluster data. Semakin tinggi nilai indeks Dunn menunjukkan semakin baik kluster yang dihasilkan. Namun, indeks ini rentan terhadap adanya outlier dan noise [32].

2. Validitas Stabilitas

Cara pengukuran pada validitas stabilitas ini adalah dengan menghapus kolom data satu per satu kemudian membandingkan hasil dari analisis klasternya. Pada validitas stabilitas

pemilihan kluster terbaik adalah dengan mencari nilai minimum pada ukuran average proportion of non-overlap (APN), average distance (AD), average distance between means (ADM) [27].

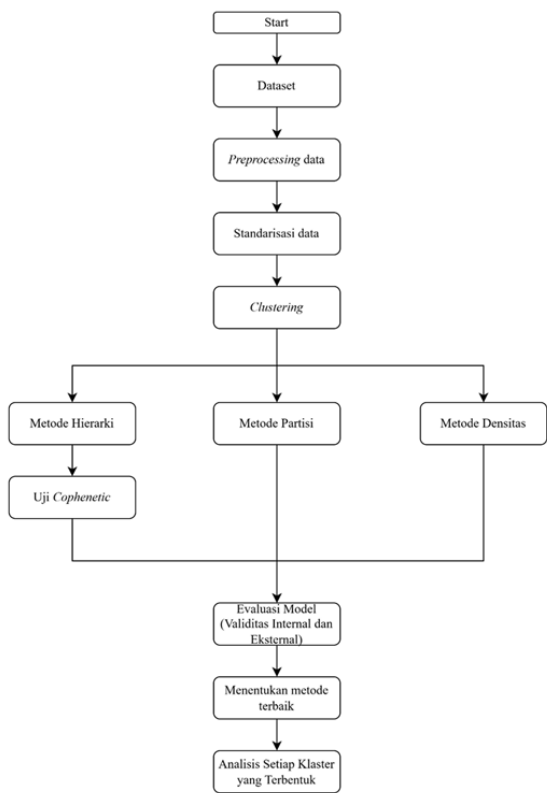
2.5. Kerangka Penelitian

Secara umum, kerangka penelitian diawali dengan mempersiapkan dataset yang dibutuhkan, yaitu 13 indikator Green Economy Index (GEL) yang telah didefinisikan sebelumnya. Tahapan selanjutnya adalah preprocessing data, yang meliputi data cleaning, data integration, dan data transformation menggunakan metode standarisasi Z-score. Setelah data diproses, dilakukan analisis clustering menggunakan tiga pendekatan, yaitu metode hierarki (agglomerative), metode partisi (K-Means dan K-Medoids), serta metode berbasis densitas (OPTICS). Pada metode hierarki, dilakukan pengujian nilai cophenetic correlation coefficient dengan rentang antara 0 hingga 1. Semakin mendekati angka 1, maka semakin baik model tersebut dalam merepresentasikan struktur pengelompokan data. Proses pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak RStudio dengan bahasa pemrograman R.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kondisi Indeks Ekonomi Hijau di Indonesia

Data Indeks Ekonomi Hijau dengan 13 indikator yang telah dikumpulkan dilakukan preprocessing terlebih dahulu sehingga menghasilkan data yang siap untuk diolah. Hasil pemeriksaan missing value menunjukkan bahwa terdapat data missing pada beberapa variabel. Missing value tersebut terjadi karena beberapa variabel tidak tersedia pada provinsi pemekaran baru. Penanganan missing value dilakukan dengan imputasi menggunakan rata-rata nilai variabel pada pulau yang sama. Hal tersebut karena provinsi yang terletak dalam satu pulau cenderung mempunyai karakteristik yang sama, terutama provinsi pemekaran baru



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Papua. Hasil ringkasan statistik untuk setiap variabel disajikan pada Tabel 2.

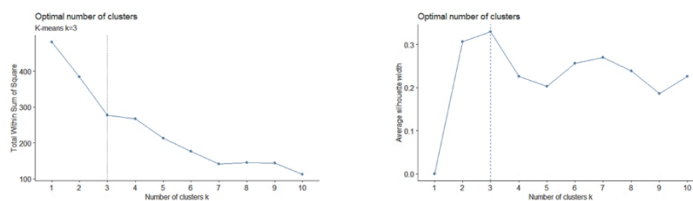
Berdasarkan hasil dari Tabel 2, dapat diketahui bahwa terdapat variabel yang mempunyai nilai minimum 0, yaitu variabel persentase penurunan emisi gas rumah kaca dan indeks kualitas ekosistem gambut. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat provinsi yang tidak memiliki ekosistem gambut serta tidak mempunyai progres dalam upaya penurunan emisi gas rumah kaca. Pilar lingkungan memiliki data yang berdistribusi menceng ke kanan, kecuali variabel persentase pengelolaan limbah dan indeks kualitas ekosistem gambut yang memiliki distribusi menceng ke kiri. Dengan demikian, masih banyak provinsi di Indonesia yang mempunyai kualitas lingkungan rendah. Pada pilar ekonomi, variabel yang digunakan memiliki distribusi menceng ke kanan. Hal ini mengindikasikan bahwa masih banyak provinsi dengan kondisi ekonomi yang kurang baik dan terpaut jauh dengan beberapa provinsi lain. Sementara itu, pada pilar sosial, variabel-variabel yang digunakan tidak menunjukkan kemencengan yang signifikan sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel pada pilar sosial cenderung tersebar merata di seluruh provinsi. Berdasarkan uraian tersebut, pilar ekonomi dan lingkungan masih perlu ditingkatkan di beberapa provinsi karena terlihat adanya kesenjangan dalam aspek ekonomi dan lingkungan antarprovinsi di Indonesia.

3.2. Pengelompokan Provinsi Berdasarkan Indeks Ekonomi Hijau

Pada penelitian ini, pengelompokan provinsi dilakukan dengan menggunakan tiga metode, yaitu metode partisi, metode hierarki, dan metode densitas.

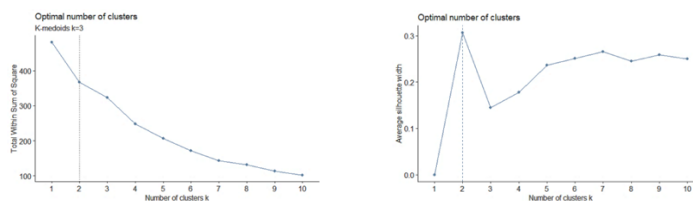
1. Metode Partisi

Pada metode partisi digunakan 2 pendekatan yaitu K-Means dan K-Medoids. Metode *elbow* dan *silhouette* digunakan untuk menentukan jumlah kluster yang paling optimal dalam membagi pengamatan.



Gambar 2. Jumlah Kluster Optimal untuk K-Means (a) Metode Elbow (b) Metode Silhouette

Berdasarkan Gambar 2, diperoleh bahwa jumlah kluster paling optimal untuk metode *K-Means* adalah 3 kluster ($k = 3$) dengan menggunakan metode *Elbow*. Berdasarkan hasil output pada Gambar 2, jumlah kluster terbaik untuk metode *K-Means* dengan menggunakan metode *Silhouette* diperoleh sebanyak 3 kluster ($k = 3$). Hasil pengelompokan dengan metode *K-Means* ditunjukkan pada Gambar 2. Metode *K-Means* menghasilkan sebanyak tiga kluster, dengan kluster pertama terdiri dari 5 provinsi, kluster kedua terdiri dari 6 provinsi yang berada di Pulau Papua, dan kluster ketiga terdiri dari 27 provinsi lainnya.



Gambar 3. Jumlah Kluster Optimal untuk K-Medoids (a) Metode Elbow (b) Metode Silhouette

Berdasarkan Gambar 3, dapat dilihat bahwa jumlah kluster paling optimal untuk metode *K-Medoids* adalah 2 kluster dengan menggunakan metode *Elbow*, karena terdapat penurunan yang signifikan pada *sum of squares* setelah $k = 3$. Selain itu, metode *Silhouette* juga menunjukkan hasil yang sama, yaitu kluster terbaik sebanyak 2 kluster karena memiliki rata-rata nilai *Silhouette* tertinggi pada $k = 2$. Namun, pada metode pengelompokan, semakin banyak kelas yang terbentuk maka akan meningkatkan heterogenan antarkluster dan menambah kehomogenan di dalam kelas. Terlalu sedikit kluster juga dapat menyebabkan *misinterpretation* hasil karena dapat mengaburkan perbedaan penting antarkelompok dalam data. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan hasil 3 kluster untuk metode *K-Medoids*. Diperoleh bahwa hasil jumlah kluster yang terbentuk dengan metode *K-Medoids* adalah $k = 3$. Kluster pertama terdiri dari 6 provinsi, kluster kedua terdiri dari 19 provinsi, dan kluster ketiga terdiri dari 13 provinsi lainnya.

2. Metode Hierarki

Metode *clustering* hierarki yang digunakan dalam penelitian ini adalah *agglomerative* (penggabungan) dengan awalnya setiap observasi diasumsikan sebagai kluster tersendiri. Korelasi *Cophenetic* digunakan sebagai metode evaluasi dalam

Table 2. Ringkasan Statistik Deskriptif

Variabel	Nama Variabel	Min	Maks	Mean	Median	Standar Deviasi
PTH	Persentase Tutupan Hutan	0,1657	84,8891	8,5898	3,9550	17,3926
PET	Persentase energi terbarukan	0,1343	18,3965	2,6680	1,3387	3,5900
PLD	Persentase limbah yang dikelola	6,47	100	48,50	32,18	16,77
PGRK	Persentase penurunan emisi Gas Rumah Kaca	0	24,5949	4,6708	0,4076	8,5730
IKEG	Indeks Kualitas Ekosistem Gambut	0	97,49	41,48	46,04	37,43
PDRBP	Produk Domestik Regional Bruto per Kapita	16870	326235	76934	59334	59740,6
PTKP	Produktivitas Tenaga Kerja Sektor Pertanian	17,41	235,35	76,16	67,92	46,35
PTKI	Produktivitas Tenaga Kerja Sektor Industri	39,09	406,25	483,86	257,64	452,65
PTKJ	Produktivitas Tenaga Kerja Sektor Jasa	57,72	628,25	169,12	122,00	89,69
RLS	Rata-rata lama sekolah	7,150	11,450	9,175	9,245	1,03
TK	Tingkat Kemiskinan	3,410	26,860	10,744	9,485	5,13
TP	Tingkat Pengangguran	2,430	9,940	4,774	4,510	1,36
UHH	Umur Harapan Hidup	68,22	75,82	70,829	70,73	2,37

pemilihan metode yang terbaik dan efektif dalam metode hierarki. Perbandingan nilai korelasi *cophenetic* dilakukan untuk metode hierarki *single linkage*, *complete linkage*, *average linkage*, dan *ward's linkage*. Hasil korelasi *cophenetic* ditunjukkan pada Tabel 3.

Table 3. Hasil Penghitungan Korelasi Cophenetic

Metode Hierarki	Korelasi Cophenetic
Single Linkage	0,825
Complete Linkage	0,791
Average Linkage	0,867
Ward's Linkage	0,680

Jika dilihat dari nilai korelasi *cophenetic* pada Tabel 3, didapatkan bahwa metode *average linkage* mempunyai nilai koefisien *cophenetic* yang terbesar di antara metode hierarki yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa metode *average linkage* merupakan metode yang paling efektif dan digunakan dalam kluster hierarki. Penentuan jumlah kluster untuk metode *average linkage* dilakukan menggunakan ukuran validitas internal dan stabilitas dengan hasil yang ditunjukkan pada tabel Tabel 4

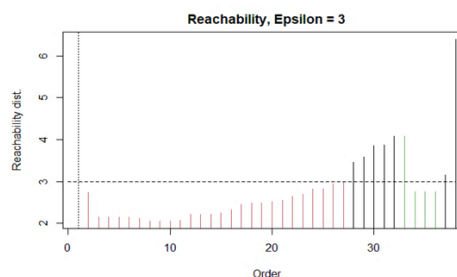
Table 4. Hasil Validitas Internal dan Stabilitas Metode Average Linkage

Metode Clustering	k	Uji Validitas Internal			Uji Stabilitas		
		Connectivity	Dunn	Silhouette	APN	AD	FOM
Average Linkage	3	7,367	0,528	0,320	0,303	0,844	0,933
Average Linkage	4	12,265	0,495	0,310	0,343	0,806	0,858
Average Linkage	5	15,969	0,471	0,277	0,366	0,713	0,711
Average Linkage	6	20,741	0,494	0,246	0,126	0,576	0,721

Berdasarkan hasil uji validitas internal dan stabilitas diperoleh bahwa *average linkage* dengan 3 kluster merupakan metode yang terbaik untuk metode hierarki. Hal ini ditunjukkan dengan nilai validitas internal yang cenderung mendominasi di semua nilai validitas internal dan nilai uji stabilitas (APN) dibandingkan kluster 4, 5, dan 6. Diperoleh bahwa kluster pertama berisi satu provinsi yaitu DKI Jakarta, kluster kedua berisi 6 provinsi yang semua provinsinya berada di Pulau Papua, sedangkan kluster ketiga berisi 31 provinsi lainnya.

3. Metode Densitas

Metode selanjutnya adalah metode kluster dengan menggunakan densitas. Metode ini mengelompokkan setiap observasi berdasarkan tingkat kerapatan objek. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode kluster OPTICS karena dapat mengatasi perbedaan densitas yang ada dalam data. Nilai parameter epsilon yang digunakan adalah 3 dengan minimum points 3. Hasil *reachability plot* untuk metode OPTICS ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Reachability Plot OPTICS

Gambar 4 menunjukkan urutan objek setelah diproses dengan menggunakan algoritma OPTICS. Urutan-urutan ini menunjukkan bagaimana titik-titik data diurutkan berdasarkan kemiripan satu dengan yang lain. Warna pada setiap urutan data di atas menunjukkan adanya kluster yang terbentuk pada metode ini. Pada hasil tersebut diperoleh bahwa jumlah kluster yang terbentuk pada metode OPTICS adalah sebanyak 3 kluster dengan batas epsilon yang diperoleh sebesar 3. Diperoleh bahwa jumlah kluster yang terbentuk adalah 3 kluster dengan 1 kluster di antaranya merupakan *noise* yang terdiri dari 2 provinsi, yaitu Provinsi DKI Jakarta dan Provinsi Kepulauan Riau. Kluster pertama beranggotakan 27 provinsi, kluster kedua beranggotakan 3 provinsi, dan kluster ketiga beranggotakan 6 provinsi yang berasal dari Pulau Papua.

Metode terbaik dipilih dengan membandingkan metode partisi, hierarki, dan densitas menggunakan uji validitas internal dan stabilitas.

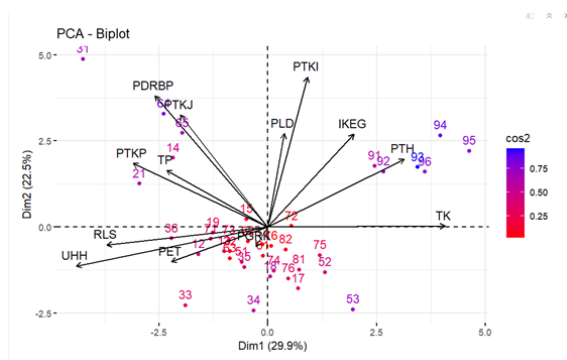
Table 5. Perbandingan metode partisi, hierarki, dan densitas

Metode Clustering	Uji Validitas Internal			Uji Validitas Stabilitas			
	Connectivity	Dunn	Silhouette	APN	AD	ADM	FOM
K-Means	11,456	0,444	0,329	0,056	3,756	0,655	0,892
K-Medoids	25,121	0,220	0,145	0,080	3,769	0,470	0,868
Average Linkage	7,367	0,528	0,320	0,303	0,844	0,403	0,903
OPTICS	17,975	0,156	0,266	0,538	0,574	0,944	0,482

Berdasarkan hasil uji validitas internal dan stabilitas antara *K-Means*, *OPTICS*, dan *average linkage* pada Tabel 5, diperoleh bahwa metode *average linkage* merupakan metode terbaik apabila dibandingkan dengan metode *K-Means* dan *OPTICS*, karena memiliki performa yang paling baik pada uji validitas internal.



Gambar 5. Hasil Kluster Terbaik dengan Metode Average Linkage



Gambar 6. Hasil Analisis Biplot

Pada Gambar 6, arah panah menunjukkan korelasi antar variabel. Analisis biplot dapat digunakan untuk melihat variabel mana yang mencirikan suatu kluster. Provinsi-provinsi yang berada dekat dengan ujung panah menunjukkan asosiasi yang kuat dengan variabel tersebut. Gambar 5 menunjukkan hasil dari metode pengelompokan terbaik yaitu *average linkage* yang membentuk 3 kluster sebagai berikut:

- (a) Kluster 1 unggul dalam pilar ekonomi dan pilar sosial tetapi tertinggal dalam pilar lingkungan sehingga belum dikatakan mampu memenuhi prinsip ekonomi hijau (1 provinsi), terdiri dari Provinsi DKI Jakarta. Gambar 6. menunjukkan Provinsi DKI Jakarta terletak jauh di kanan atas yang menunjukkan bahwa Provinsi DKI Jakarta memiliki beberapa karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan provinsi yang lainnya. Salah satu yang membuatnya berbeda adalah keunggulannya dalam pendapatan perkapita (PDRBP) dan tingkat produktivitas tenaga kerja sektor jasa (PTKJ) yang lebih tinggi dibandingkan provinsi lainnya di In-

donesia, namun cenderung rendah dalam hal aspek lingkungannya. Provinsi di kluster ini memiliki tingkat perekonomian yang tinggi namun kualitas lingkungannya kurang baik. Hal ini sesuai dengan karakteristik provinsi ini yang merupakan daerah perkotaan minim tutupan lahan hijau.

- (b) Kluster 2 unggul dalam pilar lingkungan saja belum dikatakan mampu memenuhi prinsip ekonomi hijau (6 provinsi), terdiri dari Provinsi Papua Barat Daya, Papua Barat, Papua Tengah, Papua, Papua Selatan, dan Papua Pegunungan. Provinsi yang ada di Pulau Papua ini unggul dalam kondisi ekosistem lahan gambut (IKEG), luas tutupan hutan (PTH), persentase limbah yang dikelola (PLD), dan produktivitas tenaga kerja sektor industri (PTKI). Provinsi di Pulau Papua memenuhi aspek dalam pilar lingkungan dalam ekonomi hijau namun dari sisi pilar ekonomi (PDRB perkapita, produktivitas sektor industri, dan sektor pertanian) masih perlu dikembangkan lagi. Dari sisi pilar sosial ekonomi hijau, provinsi ini juga masih banyak kekurangan di antara rata-rata lama sekolah (RLS) cenderung lebih rendah, memiliki tingkat kemiskinan (TK) yang lebih tinggi, dan memiliki tingkat angka harapan hidup yang tergolong lebih rendah dibandingkan dengan angka harapan hidup di kluster lainnya.
- (c) Kluster 3 memiliki keunggulan yang berbeda setiap pilarnya dan belum memenuhi prinsip ekonomi hijau (31 provinsi), terdiri dari provinsi selain DKI Jakarta dan Pulau Papua. Provinsi-provinsi pada kluster ini mempunyai keragaman dalam kondisi pilar ekonomi, lingkungan, dan sosial. Kluster ini mencakup provinsi yang mempunyai karakteristik berbeda dalam hal perekonomian. Misalnya, provinsi Kalimantan Timur yang unggul dalam produktivitas sektor jasa dan Kepulauan Riau dengan sektor pertaniannya yang maju. Namun, belum ada provinsi dalam kluster ini yang menonjol dalam penerapan praktik ekonomi hijau.

4. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan provinsi di Indonesia menjadi beberapa kluster menggunakan 13 indikator dari Indeks Ekonomi Hijau. Berdasarkan hasil analisis, pengelompokan provinsi di Indonesia menggunakan 13 indikator Indeks Ekonomi Hijau (GEI) tahun 2023 menghasilkan tiga kluster dengan karakteristik yang berbeda. Dari tiga pendekatan clustering yang dibandingkan yaitu hierarki, partisi, dan densitas, metode hierarki menggunakan *average linkage* memberikan hasil terbaik berdasarkan validitas internal dan stabilitas dalam konteks ekonomi hijau. Hasil pengelompokan menunjukkan bahwa kluster 1 terdiri dari 1 provinsi yang unggul dalam pilar ekonomi, tetapi sangat rendah dalam pilar lingkungan. Kluster 2 terdiri dari 6 provinsi yang unggul dalam pilar lingkungan namun tertinggal dalam pilar ekonomi. Sementara itu, kluster 3 terdiri dari 31 provinsi dengan karakteristik pilar ekonomi, lingkungan, dan sosial yang beragam, namun secara umum menunjukkan praktik ekonomi hijau yang belum signifikan. Meskipun metode partisi *K-Means* dan *K-Medoids* lebih sederhana dan

cepat, keduanya sensitif terhadap inisialisasi awal yang dapat mempengaruhi hasil akhir jika tidak ditentukan secara optimal. Metode OPTICS mampu menemukan kelompok provinsi dengan pola yang berbeda-beda, tetapi terkadang menganggap provinsi tertentu tidak masuk kelompok mana pun (noise), padahal sebenarnya provinsi tersebut tetap penting untuk dianalisis.. Metode agglomerative average linkage dipilih karena mampu mengungkap struktur hierarki antarprovinsi secara lebih alami, sesuai dengan kompleksitas hubungan antar indikator GEI walaupun terkadang menunjukkan sensitivitas terhadap outlier.

Penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan oleh pemerintah pusat maupun daerah dalam menyusun kebijakan untuk memaksimalkan potensi ekonomi hijau di masing-masing wilayah. Secara umum, sebagian besar provinsi di Indonesia belum sepenuhnya memenuhi ketiga pilar ekonomi hijau. Klaster 1, misalnya, perlu peningkatan di aspek lingkungan seperti memperluas tutupan lahan hijau dan menurunkan emisi gas rumah kaca. Provinsi-provinsi di Pulau Papua, yang unggul dalam pilar lingkungan, masih perlu penguatan pada aspek ekonomi dan sosial, seperti meningkatkan PDRB per kapita dan produktivitas tenaga kerja melalui pemberdayaan masyarakat. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah mencoba menggunakan beberapa metode non-hierarki lainnya sebagai contoh metode fuzzy dan diharapkan pada penelitian selanjutnya mampu mendapatkan data indikator ekonomi hijau yang belum berhasil didapatkan yaitu intensitas emisi dan intensitas energi final.

References

- [1] S. Keman, "Perubahan iklim global, kesehatan manusia, dan pembangunan berkelanjutan," *Jurnal Kesehatan Lingkungan Unair*, vol. 3, no. 2, p. 3934, 2007.
- [2] F. Kartiasih and A. Setiawan, "Aplikasi error correction mechanism dalam analisis dampak pertumbuhan ekonomi, konsumsi energi dan perdagangan internasional terhadap emisi co2 di indonesia," *MEDIA STATISTIKA*, vol. 13, no. 1, pp. 104–115, jun 2020.
- [3] U. N. in Indonesia. (2024) Penyebab dan dampak perubahan iklim. [Online]. Available: <https://indonesia.un.org/id/175273-penyebab-dan-dampak-perubahan-iklim> (Accessed 2024-05-28).
- [4] S. Roberts, "Effects of climate change on the built environment," *Energy Policy*, vol. 36, no. 12, pp. 4552–4557, dec 2008.
- [5] A. Calzadilla, K. Rehdanz, R. Betts, P. Falloon, A. Wiltshire, and R. S. J. Tol, "Climate change impacts on global agriculture," *Climatic Change*, vol. 120, no. 1–2, pp. 357–374, sep 2013.
- [6] Y. Malhi *et al.*, "Climate change and ecosystems: Threats, opportunities and solutions," *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 375, no. 1794, mar 2020.
- [7] R. M. Doherty, M. R. Heal, and F. M. O'Connor, "Climate change impacts on human health over europe through its effect on air quality," *Environmental Health*, vol. 16, dec 2017.
- [8] Kementerian PPN/Bappenas, *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2020–2024*. Bappenas, 2020.
- [9] M. Sudirman. (2023) Anomali suhu udara rata-rata tahun 2023. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. Accessed: May 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.bmkg.go.id/iklim/anomali-suhu-udara-tahunan.bmkg?p=anomali-suhu-udara-rata-rata-tahun-2023&tag=&lang=ID#:~:text=Berdasarkan%20data%20dari%20116%20stasiun,2023%20sebesar%200.5%20oC>
- [10] M. Anwar, "Green economy sebagai strategi dalam menangani masalah ekonomi dan multilateral," *Jurnal Pajak dan Keuangan Negara*, vol. 4, no. 1S, pp. 343–356, 2022.
- [11] E. B. Barbier and A. Markandya, *A new blueprint for a green economy*. Taylor and Francis, 2013.
- [12] United Nation Environment Programme. (2024) Green economy. [Online]. Available: <https://www.unep.org/regions/asia-and-pacific/regional-initiatives/supporting-resource-efficiency/green-economy> (Accessed 2024-05-28).
- [13] S. M. Khoshnava *et al.*, "Aligning the criteria of green economy (ge) and sustainable development goals (sdgs) to implement sustainable development," *Sustainability*, vol. 11, no. 17, p. 4615, aug 2019.
- [14] A. P. Lestari *et al.*, "Green economy index: A step forward to measure the progress of low carbon & green economy in indonesia," 2022.
- [15] Badan Pusat Statistik, *Statistik Indonesia 2024*, 2024.
- [16] D. Hartono *et al.*, "The impacts of households on carbon dioxide emissions in indonesia," *Environmental Processes*, vol. 10, no. 4, p. 54, dec 2023.
- [17] Direktorat Statistik Ketahanan Sosial, *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2023*. Badan Pusat Statistik, 2023, vol. 42.
- [18] P. C. Lumbanraja and P. L. Lumbanraja, "Analisis variabel ekonomi hijau terhadap pendapatan indonesia (2011–2020) dengan metode sem-pls," *Cendekia Niaga*, vol. 7, no. 1, pp. 61–73, aug 2023.
- [19] N. Haitao, "Implementation of a green economy: Coal industry, electric vehicles, and tourism in indonesia," *Dinasti International Journal of Economics, Finance & Accounting*, vol. 3, no. 1, 2022.
- [20] Y. Rufiatun, E. Grativiani, and M. Raharjo, "Analysis of new renewable energy (ebt) electricity on green economy in indonesia and influence factors," *International Journal of Multicultural and Multireligious Understanding*, vol. 10, no. 9, p. 16, sep 2023.
- [21] A. Salsabillah, P. Narindra, N. Rahardjo, and F. Afrianto, "Tingkat keseimbangan dan klaster ekonomi hijau di provinsi jawa timur," *Jurnal Riset Planologi*, vol. 4, pp. 129–152, 2023.
- [22] A. S. C. Martins, L. R. de Araujo, and D. R. R. Penido, "K-medoids clustering applications for high-dimensionality multiphase probabilistic power flow," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 157, 2024.
- [23] E. Luthfi and A. W. Wijayanto, "Analisis perbandingan metode hierarchical, k-means, dan k-medoids clustering dalam pengelompokan indeks pembangunan manusia indonesia," *INOVASI*, vol. 17, no. 4, pp. 761–773, dec 2021.
- [24] F. Agustina and Helynda, "Ward hierarchical clustering: Indonesia's green economy implementation performance based on environmental quality towards sdgs," *International Journal of Advanced Scientific Research and Engineering*, vol. 9, no. 5, pp. 55–64, 2023.
- [25] T. R. Noviandy *et al.*, "Environmental and economic clustering of indonesian provinces: Insights from k-means analysis," *Leuser Journal of Environmental Studies*, vol. 2, no. 1, pp. 41–51, apr 2024.
- [26] A. M. Ikotun, A. E. Ezugwu, L. Abualigah, B. Abuhajja, and J. Heming, "K-means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data," *Information Sciences*, vol. 622, pp. 178–210, 2023.
- [27] A. Firmanda and A. W. Wijayanto, "Grouping of regencies/municipalities in eastern indonesia in 2021 based on socio-economic indicators," *Sistemasi*, vol. 12, no. 2, p. 390, 2023.
- [28] N. Ulinnuh and R. Veriani, "Analisis cluster dalam pengelompokan provinsi di indonesia berdasarkan variabel penyakit menular," *InfoTekJar*, vol. 5, no. 1, pp. 40–43, 2020.
- [29] C. Suhaeni, A. Kurnia, and R. Ristiyanti, "Perbandingan hasil pengelompokan menggunakan analisis cluster berhirarki, k-means cluster, dan cluster ensemble," *Jurnal Media Infotama*, vol. 14, no. 1, 2018.
- [30] I. Yahya, G. N. A. Wibawa, Baharudin, Ruslan, and L. Laome, "Penggunaan korelasi cophenetic untuk pemilihan metode cluster berhierarki," in *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Terapan*, 2022, pp. 1–16.
- [31] M. Ankerst, M. M. Breunig, H. P. Kriegel, and J. Sander, "Optics: Ordering points to identify the clustering structure," *SIGMOD Record*, vol. 28, no. 2, pp. 49–60, 1999.
- [32] N. Afira and A. W. Wijayanto, "Analisis cluster dengan metode partitioning dan hierarki pada data informasi kemiskinan provinsi di indonesia tahun 2019," *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*, vol. 10, no. 2, pp. 101–109, 2021.