

# Analisis Indeks Pembangunan Manusia Di Jawa Timur Tahun 2022-2023 Berdasarkan Indikator Menggunakan Metode Fuzzy C-Means

Salsabila Hartanto<sup>1\*</sup>, M. Sailul Adzan<sup>2</sup>, Dina Zatusiva Haq<sup>3</sup>,  
Dian C.R. Novitasari<sup>4\*</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Matematika, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel, Surabaya 60237, Indonesia  
salsabilahrtnt@gmail.com, aadsailul96@gmail.com, zatusivad@gmail.com, diancrininov@gmail.com

## Abstrak

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) termasuk faktor perkembangan suatu negara. Khususnya di Jawa Timur yang dengan nilai IPM rendah dibandingkan dengan IPM provinsi lainnya karena IPM di Jawa Timur memiliki indikator yang berpengaruh pada nilai IPM rendah, yaitu Tingkat pengangguran Terbuka, Angka Harapan Hidup, Gini Rasio, dan Upah Minimum Regional. Penelitian ini bertujuan mengelompokkan Kabupaten/Kota di Jawa Timur dengan menerapkan algoritma Fuzzy C-Means. Dihasilkan *cluster* pada tahun 2023 dengan silhouette 0,7742 dengan 3 *cluster*. Berdasarkan kualitas IPM, bahwasannya mengungkapkan bahwa kota/kabupaten di Provinsi Jawa Timur terdiri dari 3 *cluster*: *Cluster* 0 (rendah) yang memiliki 23 kabupaten/kota, *Cluster* 1 (tinggi) yang memiliki 5 kabupaten/kota, dan *Cluster* 2 (sedang) dengan memiliki 10 kabupaten/kota. Terdapat perubahan pada Indeks Pembangunan Manusia di tahun 2022 dan 2023 yakni Jember, Kota Kediri, dan Kota Blitar.

**Kata kunci:** Clustering, Fuzzy C-Means, Indeks Pembangunan Manusia, Jawa Timur, Silhouette.

## Abstract

The Human Development Index (HDI) is a factor in the development of a country. Especially in East Java which has a low HDI value compared to the HDI of other provinces because the HDI in East Java has indicators that affect the low HDI value, namely the Open Unemployment Rate, Life Expectancy Rate, Gini Ratio, and Regional Minimum Wage. This research aims to cluster regencies/cities in East Java by applying the Fuzzy C-Means algorithm. The resulting cluster in 2023 with a silhouette of 0.7742 with 3 clusters. Based on the quality of HDI, it reveals that the cities/districts in East Java Province consist of 3 clusters: Cluster 0 (low) which has 23 districts/cities, Cluster 1 (high) which has 5 districts/cities, and Cluster 2 (medium) which has 10 districts/cities. There are changes in the Human Development Index in 2022 and 2023, namely Jember, Kediri City, and Blitar City.

**Keywords:** Clustering, Fuzzy C-Means, Human Development Index, East Java, Silhouette.

## 1. PENDAHULUAN

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) sangat berpengaruh untuk kemajuan suatu negara. Tanpa kualitas IPM yang baik, harapan untuk kemajuan negara tersebut menjadi semakin kecil (Novianti et al., 2022). Upaya untuk meningkatkan kualitas IPM ini sendiri perlu sekali untuk meningkatkan atau memperhatikan daerah-daerah disetiap negara tersebut. Terutama di daerah yang terpencil dan kurangnya IPM yang belum maju (Ulinuha & Novitasari, 2023). Jika dilihat pada hasil Laporan HDR tahun 2021 berada pada peringkat ke-114, sementara pada tahun 2022 naik menjadi peringkat ke-112 (UNDP, 2022).

Secara umum nilai IPM Indonesia terus mengalami peningkatan, meskipun terjadi beberapa tidak kestabilan yang diakibatkan oleh beberapa ekonomi masyarakat (Nurlina et al., 2023). Seperti yang diketahui, hasil IPM di Indonesia mengalami peningkatan akhir-akhir ini. Daerah di Indonesia dengan IPM tertinggi masih dipegang oleh DKI Jakarta, namun tidak terlalu banyak peningkatan dibanding dengan daerah-daerah lainnya. IPM Jawa Timur terus mengalami peningkatan dalam setiap tahunnya, ipm Jawa Timur juga masuk kedalam golongan tinggi diantara 34 provinsi. Namun dibalik peningkatan tersebut, Jawa Timur masih terletak di peringkat 13 dari 34 Provinsi (Direktorat Analisis dan Pengembangan Statistik & Penyunting, 2023).

Pada tahun 2022 berdasarkan Data infografis BPS Jawa Timur, IPM Di Jawa Timur mengalami hal yang positif pada tiap tahun. Tahun 2022 IPM Di Jawa Timur memiliki persentase 74,05, sementara tahun 2023 IPM di Jawa Timur mengalami kenaikan dengan persentase 0,6 menjadi 74,65 dan masuk kedalam kategori tinggi. Masih beberapa di Jawa Timur dengan IPM paling rendah.

Komponen pembentukan Indeks Pembangunan Manusia sendiri terdiri dari Angka Harapan Hidup (AHP), Harapan Lama Sekolah (HLS), Pengeluaran Per Kapita Rill di sesuaikan, dan Rata-rata Lama Sekolah (Indeks Pembangunan Manusia, 2023). Namun, pembentukan IPM tidak hanya berdasarkan faktor-faktor tersebut, adapun faktor-faktor pendukung seperti Tingkat Pengangguran Terbuka, Gini Rasio dan Upah Minimum Regional. Berdasarkan faktor tersebut maka dapat mengelompokkan daerah sangat dibutuhkan, karena untuk mengetahui Kabupaten/Kota yang masih memiliki ketertinggalan Indeks Pembangunan Manusia (Rosyidah et al., 2024).

Dalam analisis cluster, pengelompokan berdasarkan kesamaan atau kemiripan. Metode Fuzzy Clustering mengatribusikan setiap titik data dengan nilai probabilitas dan bobot untuk masukkan kedalam setiap cluster. Titik data yang memiliki jarak terdekat dengan pusat cluster, terdapat probabilitas yang lebih tinggi untuk bergabung pada cluster-nya daripada cluster lainnya (Armetiyana Margareta, Debby Rahmi Hg, 2021).

Yoza, Hazmira Fuzzy Clustering ini bertujuan untuk mengetahui konsep pengelompokan FCM, mengevaluasi validitas cluster, dan melakukan penerapan pengelompokan FCM menjadi lebih rapi kembali (Putri et al., 2022). Pada penelitian sebelumnya menerapkan metode Fuzzy C-Means, yang meneliti tentang pengelompokan Tingkat Buta Huruf di Indonesia dengan nilai validitas FCM 0,8036 dan Silhouette Index K-Means menghasilkan nilai 0,7892. Berdasarkan uji validitas, penelitian tersebut bahwasannya fcm lebih efektif untuk melakukan pengelompokan. Penelitian tersebut menggunakan data tingkat buta huruf dari tahun 2015-2019, yang dimana dalam tabel ditunjukkan bahwa data berupa numerik (Pamungkas et al., 2021).

Terdapat juga penelitian terdahulu lainnya dengan menghasilkan nilai validasi FCM 0,8049

dan validasi K-Means dengan nilai 0,7992 (Aghyari & Kudus, 2023). Dari penelitian diatas, studi kasus ini bertujuan untuk membandingkan kualitas Indeks Pembangunan Manusia (IPM) di Jawa Timur tahun 2022 dan tahun 2023 menggunakan metode Fuzzy C-Means dengan data numerik.

Studi kasus ini dapat disimpulkan bahwa Indeks pembangunan Manusia (IPM) mempunyai peran krusial pada kehidupan manusia dan kemajuan negara, sehingga penelitian ini mendalami faktor-faktor yang mempengaruhi. Metode yang digunakan adalah Fuzzy C-Means, yang mampu mengelompokkan data berdasarkan kesamaan karakteristik. FCM dipilih karena setiap kabupaten atau kota di Jawa Timur memiliki karakteristik yang beragam, namun dapat dikelompokkan berdasar kesamaan karakteristik.

## 2. METODE

Studi kasus ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Jawa Timur untuk periode tahun 2022-2023. Data yang digunakan dalam studi kasus ini terdiri dari 38 data dengan 4 variabel.

Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) berdasarkan Kabupaten/Kota di Jawa Timur (persen). TPT adalah persentase dari jumlah pengangguran terbuka yang dihitung berdasarkan kabupaten/kota di Jawa Timur. Angka ini memberikan indikasi seberapa banyak penduduk yang aktif mencari pekerjaan namun belum mendapatkannya, dan penting untuk memahami dinamika ketenagakerjaan di setiap wilayah.

Angka Harapan Hidup (AHH), yaitu rata-rata tahun hidup yang masih akan dijalani oleh seseorang (tahun). Semakin tinggi angka ini, semakin baik tingkat kesehatan masyarakat di wilayah tersebut. AHH sering berkaitan dengan faktor-faktor seperti akses kesehatan, pola hidup, dan standar hidup.

Gini Rasio (GR) berdasarkan Kabupaten/Kota di Jawa Timur. Gini Rasio adalah indikator ketimpangan pendapatan. Nilainya berkisar antara 0 hingga 1, di mana semakin mendekati 1 menunjukkan ketimpangan yang semakin tinggi. GR ini bisa memberikan gambaran mengenai kesenjangan ekonomi antara masyarakat di setiap kabupaten/kota.

Upah Minimum Regional (UMR) berdasarkan Kabupaten/Kota di Jawa Timur. upah minimum yang ditetapkan pemerintah untuk setiap kabu-

paten/kota. UMR yang lebih tinggi bisa berarti biaya hidup yang lebih tinggi atau upaya pemerintah daerah untuk meningkatkan kesejahteraan pekerja. Data yang diperoleh dari BPS Jawa Timur dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Indeks Pembangunan Manusia di Jawa Timur 2022

Kab/Kota	TPT	AHP	GR	UMR
Pacitan	3.65	72.48	0.338	1961154.77
Ponorogo	5.51	73.2	0.336	1954281.32
Trenggalek	5.37	74.26	0.331	1944932.74
ulungagung	6.65	74.54	0.342	2029358.67
Blitar	5.45	73.98	0.335	2015071.18
Kediri	6.83	72.97	0.329	2043422.93
Malang	6.57	72.95	0.368	3068275.36
Lumajang	4.97	70.61	0.349	2000607.20
Jember	4.06	69.68	0.301	2355662.91
Banyuwangi	5.26	71.06	0.329	2328899.12
Bondowoso	4.32	67.29	0.365	1958640.12
Situbondo	3.38	69.62	0.298	1942750.77
Probolinggo	3.25	67.78	0.275	2553265.95
Pasuruan	5.91	70.55	0.325	4365133.19
Sidoarjo	8.8	74.36	0.373	4368581.85
Mojokerto	4.83	72.93	0.327	4354787.17
Jombang	5.47	72.86	0.31	2654095.88
Nganjuk	4.74	71.95	0.301	1970006.41
Madiun	5.84	71.9	0.354	1958410.31
Magetan	4.33	72.97	0.352	1957329.43
Ngawi	2.48	72.81	0.3	1962585.99
Bojonegoro	4.69	72.16	0.28	2079568.07
Tuban	4.54	71.97	0.345	2539224.88
Lamongan	6.05	72.86	0.273	2501977.27
Gresik	7.84	72.99	0.363	4372030.51
Bangkalan	8.05	70.54	0.306	1956773.48
Sampang	3.11	68.38	0.28	1922122.97
Pamekasan	1.4	68.03	0.305	1939686.39
Sumenep	1.36	71.99	0.266	1978927.22
Kediri	4.38	74.34	0.371	2118116.63
Blitar	5.39	74.26	0.381	2039024.44
Malang	7.66	73.75	0.421	2994143.98
Probolinggo	4.57	70.68	0.322	2376240.63
Pasuruan	6.18	71.96	0.36	2838837.64
Mojokerto	5.05	73.74	0.381	2510452.36
Madiun	6.39	73.13	0.398	1991105.79
Surabaya	7.62	74.47	0.388	4375479.19
Batu	8.43	72.97	0.308	2830367.09

Tabel 1 menunjukkan perbedaan signifikan dalam kondisi sosial ekonomi antar kabupaten/kota di Jawa Timur. Kota dengan UMR tinggi seperti Surabaya dan Sidoarjo juga memiliki TPT dan Gini Rasio yang tinggi, menandakan tantangan dalam ketenagakerjaan dan ketimpangan pendapatan meskipun upah minimum relatif tinggi. Di sisi lain, daerah seperti Sumenep dan Pamekasan, dengan UMR

dan Gini Rasio yang rendah, memiliki TPT yang juga rendah, menunjukkan kondisi ekonomi yang lebih merata namun mungkin dengan kesempatan ekonomi yang terbatas. Hal ini menggambarkan dinamika sosial ekonomi yang berbeda di seluruh wilayah, terutama terkait industrialisasi dan kesejahteraan masyarakat.

Tabel 2. Indeks Pembangunan Manusia di Jawa Timur 2023

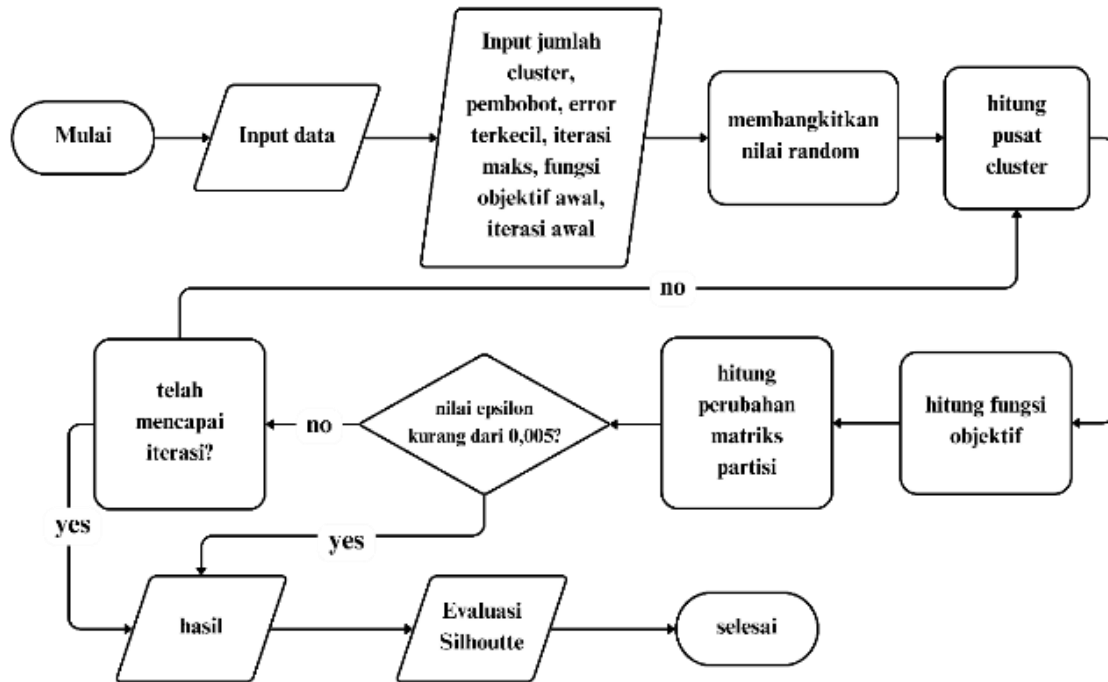
Kab/Kota	TPT	AHP	GR	UMR
Pacitan	1.83	72.86	0.352	2157270.25
Ponorogo	4.66	73.55	0.341	2149709.45
Trenggalek	4.52	74.64	0.336	2139426.01
ulungagung	5.65	74.91	0.328	2229358.67
Blitar	4.91	74.34	0.36	2215071.18
Kediri	5.79	73.27	0.306	2243422.93
Malang	5.7	73.26	0.378	3268275.36
Lumajang	3.67	70.96	0.391	2200607.20
Jember	4.01	70.03	0.344	2555662.91
Banyuwangi	4.75	71.38	0.351	2528899.12
Bondowoso	4.15	67.6	0.35	2154504.13
Situbondo	3.27	69.94	0.326	2137025.85
Probolinggo	3.24	68.12	0.319	2753265.95
Pasuruan	5.48	70.81	0.367	4515133.19
Sidoarjo	8.05	74.69	0.359	4518581.85
Mojokerto	4.67	73.25	0.338	4504787.17
Jombang	4.66	73.22	0.339	2854095.88
Nganjuk	4.68	72.28	0.324	2167007.05
Madiun	5.14	72.28	0.342	2154251.34
Magetan	4.16	73.29	0.373	2153062.37
Ngawi	2.41	73.2	0.328	2158844.59
Bojonegoro	4.63	72.57	0.283	2279568.07
Tuban	4.4	72.36	0.338	2739224.88
Lamongan	5.46	73.22	0.295	2701977.27
Gresik	6.82	73.3	0.33	4522030.51
Bangkalan	6.18	70.79	0.299	2152450.83
Sampang	2.72	68.64	0.254	2114335.27
Pamekasan	1.74	68.31	0.348	2133655.03
Sumenep	1.71	72.47	0.287	2176819.94
Kediri	4.06	74.67	0.4	2318116.63
Blitar	5.24	74.66	0.397	2239024.44
Malang	6.8	74.13	0.413	3194143.98
Probolinggo	4.53	70.99	0.347	2576240.63
Pasuruan	5.64	72.31	0.378	3038837.64
Mojokerto	4.73	74.1	0.353	2710452.36
Madiun	5.85	73.44	0.416	2190216.37
Surabaya	6.76	74.75	0.423	4525479.19
Batu	4.52	73.29	0.33	3030367.09

Data pada Tabel 2 menunjukkan pola yang konsisten dengan perbedaan sosial ekonomi antar wilayah di Jawa Timur. Kabupaten/kota dengan UMR tertinggi seperti Surabaya, Sidoarjo, dan Gresik juga cenderung memiliki TPT dan Gini Rasio yang lebih tinggi, menandakan ketimpangan pendapatan serta tantangan dalam ketenagakerjaan meskipun

dengan upah yang lebih tinggi. Sebaliknya, kabupaten seperti Sumenep dan Pamekasan memiliki UMR dan Gini Rasio yang lebih rendah dan TPT yang relatif kecil, mengindikasikan distribusi ekonomi yang lebih merata namun dengan kesempatan kerja yang mungkin lebih terbatas. Kota-kota industri tampak menghadapi tantangan ketimpangan yang lebih besar dibandingkan kabupaten-

kabupaten dengan ekonomi yang lebih stabil dan merata.

Data yang terdapat pada Tabel 1 dan Tabel 2 akan dianalisis menggunakan metode *fuzzy clustering means* dengan koefisien *silhouette*. Tahapan penelitian ini diuraikan melalui diagram alir yang tersedia dalam Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart proses *clustering Fuzzy C-Means*

Dalam meng-*cluster* data dengan metode *FCM*, langkah awal adalah memasukkan data yang akan dikelompokkan. Kemudian, masukkan komponen-komponen yang diperlukan dalam *fuzzy c-means*. Setelah itu, buat matriks acak sebagai derajat keanggotaan awal. Selanjutnya, hitung pusat *cluster* menggunakan persamaan (3). Lanjutkan dengan menghitung fungsi objektif menggunakan persamaan (4), dan kemudian kalkulasikan perubahan dalam matriks partisi dengan memanfaatkan rumus (5). Pada tahap berikutnya, periksa kondisi penghentian, jika telah mencapai kesalahan terkecil, maka proses berhenti dan selesai. Jika tidak, lanjutkan hingga iterasi maksimum (6). Namun, jika hasil iterasi memenuhi syarat, maka proses iterasi akan berhenti dan selesai. Jika iterasi maksimum tidak memenuhi syarat, maka hitung kembali pusat *cluster* (7). Dalam penelitian ini, evaluasi dilakukan menggunakan metode *silhouette*

berdasarkan tabel *Kaufman* (8) (Pamungkas et al., 2021).

## 2.1 Indeks Pembangunan Manusia

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) merupakan alat ukur yang mencerminkan upaya pemangunan manusia dalam suatu wilayah, dengan menggambarkan hasil pembangunan beberapa tahun sebelumnya. IPM terdiri dari sejumlah faktor penting, termasuk Angka Harapan Hidup (AHH), Harapan Lama Sekolah (HLS), Pengeluaran Per Kapita yang disesuaikan, dan Rata-Rata Lama Sekolah. Faktor-faktor ini memberikan gambaran komprehensif tentang kemajuan sosial-ekonomi suatu wilayah dan membantu pengambil keputusan dalam upaya menambah mutu hidup penduduk (Badan Pusat Statistik, 2023).

Namun pada studi kasus ini, IPM menggunakan faktor pendukung dalam meng-*cluster* di Jawa Timur. Pada Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) menjelaskan bahwa ukuran persentase individu di antara penduduk usia kerja yang tidak memiliki pekerjaan dan sedang aktif mencari pekerjaan. Mencakup pekerjaan dalam populasi usia 15 tahun ke atas (Ardian et al., 2022). TPT adalah indikator yang penting untuk memahami dinamika pasar kerja dan kesehatan ekonomi suatu wilayah. Selain itu, Angka Harapan Hidup (AHH) adalah usia rata-rata yang diperkirakan seseorang dapat mencapai berdasarkan tingkat kematian pada periode tersebut, yang memiliki implikasi penting terhadap program-program kesehatan, sosial, dan lingkungan (Santika Santika et al., 2022), AHH sangat signifikan dalam mempengaruhi Indeks Pembangunan Manusia.

Gini rasio menjadi indikator krusial dalam mengevaluasi pendapatan, dan merupakan faktor penting dalam menilai sosial dan ekonomi. Pada gini rasio nilai yang bisa dilihat ialah 0 dan 1, dimana 0 mengindikasikan pemerataan total dan 1 menunjukkan ketimpangan. Dan dapat dilihat dari Kurva Lorenz, jika hasil berada dibawah garis diagonal maka distribusi pendapatan merata, namun jika hasil yang ditunjukkan semakin jauh dari garis diagonal maka semakin besar ketimpangan distribusi pendapatan (Anwar, 2023). Sementara itu, Upah Minimum Regional (UMR) merupakan upah bulanan paling rendah yang ditetapkan pemerintah daerah atau gubernur untuk suatu wilayah tertentu. UMR juga bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara kepentingan pekerjaan dan pengusaha serta untuk memperkuat perlindungan sosial bagi pekerja rendah dan menengah (Pambagyo et al., 2024).

Analisis yang mendalam terhadap faktor-faktor ini memungkinkan pengambil keputusan untuk mengidentifikasi tantangan dan peluang dalam meningkatkan kualitas hidup manusia serta memperkuat perkembangan pembangunan yang berkelanjutan (Marliana, 2022).

**2.2 Fuzzy C-Means**

*Fuzzy C-Means (FCM)* adalah sebuah metode yang diperkenalkan Jim Bezdek di tahun 1981. *FCM* digunakan untuk mengelompokkan data di mana tiap data terdapat tingkat keanggotaan dalam masing-masing *cluster* yang ditentukan berdasarkan derajat keanggotaannya (Aghyari & Kudus, 2023). Pada *fuzzy c-means* ini, pusat

awal dari setiap *cluster* mungkin tidak akurat karena tiap data terdapat derajat keanggotaan yang berbeda-beda untuk masing-masing *cluster* (Sanusi et al., 2020). Oleh karena itu, iterasi dilakukan untuk memperbaiki derajat keanggotaan data terhadap pusat *cluster*. Selama iterasi, pusat *cluster* diperbarui untuk mencapai posisi yang paling akurat dan tepat. Proses iterasi berdasarkan pada fungsi objektif yang minimal, yang mengukur jarak antara data dan pusat *cluster* (Ulinuha, 2020). Berikut merupakan dari Algoritma FCM (Novianti et al., 2022).

1. Input n data untuk di clustering menjadi cluster X, dalam bentuk matriks berukuran n×m dengan n adalah jumlah total data dan m adalah jumlah atribut dari setiap data.
2. Menentukan parameter fcm :
  - a. Jumlah dari cluster (c)
  - b. Nilai pangkat (w)
  - c. Maksimal iterasi (MaxIter)
  - d. Error Terkecil (epsilon)(ε)
  - e. Nilai fungsi obyektif awal (P0 = 0)
  - f. Nilai Iterasi awal (t = 1)
3. Menghasilkan angka acak dalam bentuk matriks μ<sub>ik</sub> berukuran c×m, kemudian menghitung total dari setiap kolom dengan menggunakan persamaan.

$$Q_i = \sum_{k=1}^c \mu_{ik} \dots\dots\dots(1)$$

μ<sub>ik</sub> = derajat keanggotaan  
 Q<sub>i</sub> = jumlah nilai derajat keanggotaan per kolom yang setara dengan 1 untuk i = 1,2, ..., n;  
 Kemudian, untuk menentukan derajat keanggotaan awal, digunakan persamaan.

$$\mu_{ik} = \frac{\mu_{ik}}{Q_i} \dots\dots\dots(2)$$

4. Menyusun perhitungan pusat cluster ke-k, V<sub>kj</sub> dengan menggunakan rumus persamaan untuk k = 1,2, ..., c dan j = 1,2, ..., n

$$V_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n ((\mu_{ik}^w) * (X_{ij}))}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik}^w)} \dots\dots\dots(3)$$

5. Menghitung nilai fungsi objektif pada setiap iterasi ke-t, P<sub>t</sub> sesuai dengan Persamaan.

$$P_t = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c \left( \left[ \sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right] \mu_{ik}^w \right) \dots\dots(4)$$

6. Perbaiki matriks U berdasarkan Persamaan.

$$\mu_{ik} = \frac{\left[ \sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1(w-1)}{(w-1)}}}{\sum_{k=1}^c \left[ \sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1(w-1)}{(w-1)}}} \dots\dots(5)$$

7. Memeriksa keadaan untuk iterasi dihentikan. Dengan ketentuan sebagai berikut :

- a.  $(|Pt - (Pt - 1)| < \epsilon)$  atau  $(t > MaxIter)$ , maka iterasi berhenti.
- b. Apabila tidak  $t = t + 1$ , dan langkah ke-4 akan diulangi.

**2.3 Silhouette Coefficient**

*Silhouette Coefficient* adalah suatu metode evaluasi *cluster* yang mengkombinasikan konsep *cohesion* dan *separation*. Tujuan dari penggunaan *Silhouette Coefficient* adalah untuk mengoptimalkan pengelompokan agar dianggap baik dan optimal. Jarak antar data dihitung dengan menggunakan rumus *euclidian distance* (Rizal et al., 2022). Perhitungan *Silhouette Coefficient* dapat dilihat dalam persamaan.

$$S_i = \frac{(b_i - a_i)}{\max(b_i - a_i)} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

$S_i$  = *Silhouette Coefficient*

$a_i$  = Rata-rata jarak objek  $i$  terhadap semua objek lain dalam *cluster* yang sama.

$b_i$  = nilai minimum dari rata-rata jarak objek  $i$  terhadap objek-objek dari *cluster* lain yang berbeda.

Tabel 3. Tabel Kaufman dan Rousseeuw

Nilai Silhouette Coefficient	Definisi
0.71 - 1.00	Struktur yang kuat
0.51 - 0.7	Struktur baik/sesuai
0.26 - 0.50	Struktur lemah
$\leq 0.25$	Tidak ada struktur

Untuk menentukan suatu nilai *silhouette coefficient* baik atau tidaknya dapat dilihat melalui tabel *Kaufman* dan *Rousseeuw* seperti pada Tabel 3. *Silhouette coefficient* memiliki nilai bervariasi dari -1 hingga 1, nilai yang mendekati 1 mengindikasikan data tersebut memiliki struktur yang kuat dan terletak dengan baik di dalam *cluster* tersebut, sesuai dengan yang ditunjukkan dalam Tabel 1. Di sisi lain, jika nilai *Silhouette Coefficient* mendekati 0 menunjukkan bahwa data ada di perbatasan antara dua *cluster* atau mungkin tidak dengan jelas teratribusi ke salah satu *cluster* (Febriyani et al., 2020).

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini melibatkan 38 kabupaten atau kota di Jawa Timur yang mempertimbangkan beberapa faktor yang mempengaruhi Indeks

Pembangunan Manusia (IPM). Total 380 data akan dikelompokkan menjadi 2, 3, dan 4 *cluster* yang mewakili tingkat IPM rendah dan tinggi di Kabupaten/Kota. Langkah pertama adalah menentukan komponen-komponen yang diperlukan dalam *fuzzy c-means*, yaitu jumlah klaster, nilai pangkat pembobot, maksimum iterasi, kesalahan terkecil, nilai fungsi objektif awal, dan nilai iterasi awal. Pengelompokan dilakukan untuk tahun 2022 dan tahun 2023 guna menganalisis kualitas IPM di Jawa Timur. Hasil pengelompokan untuk tiap tahunnya dapat dilihat pada poin 4.1 dan 4.2.

**3.1 Indeks Pembangunan Manusia Tahun 2022**

Dalam melakukan optimalisasi *cluster*, perlu dilakukannya tes *validity silhouette Coefficient*. Berdasarkan Tabel 4, jika hasil nilai yang dihasilkan mendekati 1 maka data tersebut memiliki data yang semakin bagus atau data dengan struktur yang kuat. Namun hasil yang didapat pada optimalisasi *cluster* juga harus disesuaikan dengan data yang diperoleh.

Tabel 4. *Validity Index Cluster*

Jumlah cluter	<i>Fuzzy Silhouette Index</i>
2	0.8339
3	0.7759
4	0.8204

Menurut hasil validitas, pusat *cluster* berhenti ketika nilai epsilon terpenuhi sebesar kurang dari sama dengan 0,005. Pada Tabel *Kaufman*, dengan kasus Indeks Pembangunan Manusia, hasil pada 2 *cluster* adalah *cluster* yang memiliki nilai paling besar diantara 2, 3 dan 4 *cluster* dengan koefisien *silhouette* sebesar 0,8339. Namun, jika menggunakan *cluster* 2 akan menghasilkan pengelompokan yang kurang sesuai. Pada penelitian IPM tahun 2022 menggunakan 3 *cluster* untuk mengelompokkan Kabupaten/Kota. Pusat *cluster* dapat ditemukan dalam tabel 5.

Pada hasil dari pusat *cluster* di tabel 5. Pada variabel Tingkat Pengangguran Tinggi *cluster* 0 merupakan yang tertinggi sebesar 6,9995085, untuk *cluster* 1 merupakan *cluster* sedang sebesar 5,7198288, sedangkan *cluster* 2 merupakan *cluster* yang terendah sebesar 4,68749169.

Tabel 5. Titik Pusat *Cluster* Indeks Pembangunan Manusia tahun 2022

	TPT	AHH	GR	UMR
Cluster 0	6,9995 085	73,059 8218	0,355238 913	436470 2,26
Cluster 1	5,7198 288	72,052 3909	0,333154 065	267122 6,02
Cluster 2	4,6874 9169	71,928 805	0,329092 603	199777 4,16

Pada variabel Angka Harapan Hidup *cluster* 0 merupakan yang paling besar sebesar 73,0598218, untuk *cluster* 1 merupakan cluster sedang sebesar 72,0523909, sedangkan *cluster* 2 merupakan cluster yang terendah sebesar 71,928805.

Pada variabel Gini Rasio Hidup *cluster* 0 merupakan yang paling besar sebesar 0,355238913, untuk *cluster* 1 merupakan cluster sedang sebesar 0,333154065, sedangkan *cluster* 2 merupakan *cluster* yang terendah sebesar 0,329092603.

Pada variabel Upah Minimum Regional *cluster* 0 merupakan yang paling besar sebesar 4364702,26, untuk *cluster* 1 merupakan cluster sedang sebesar 2671226,02, sedangkan *cluster* 2 merupakan *cluster* yang terendah sebesar 1997774,16.

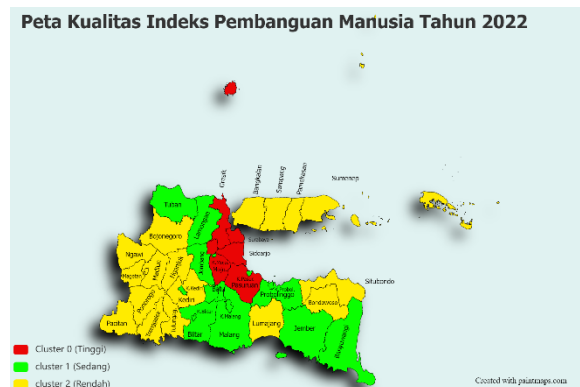
Pada hasil *cluster* telah mengelompokkan Kabupaten/Kota pada setiap *cluster*-nya. Dapat dilihat pada hasil *cluster Fuzzy C-Means* di Jawa Timur dapat ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil *Fuzzy C-Means*

Cluster	Kabupaten/Kota
0	Kabupaten Pasuruan, Sidoarjo, Kabupaten Mojokerto, Gresik, Surabaya Kabupaten Malang, Jember, Kabupaten Probolinggo, Jombang, Tuban, Lamongan, Kota Kediri, Kota Blitar, Kota Malang, Kota Probolinggo, Kota Pasuruan, Kota Mojokerto, Batu
1	Pacitan, Ponorogo, Trenggalek, Tulungagung, Kabupaten Blitar, Kabupaten Kediri, Lumajang, Banyuwangi, Bondowoso, Situbondo, Nganjuk, Kabupaten Madiun, Magetan, Ngawi, Bojonegoro, Bangkalan, Sampang, Pamekasan, Sumenep, Kota Madiun

Dari hasil data yang didapat pada Tabel 6. Dapat diperoleh bahwa *cluster* 0 terdapat 5 Kabupaten/Kota dengan tingkat kualitas IPM yang tinggi yakni Kabupaten Pasuruan, Sidoarjo, Kabupaten Mojokerto, Gresik, Surabaya, pada *cluster* 1 terdapat 13 Kabupaten/Kota dengan tingkat kualitas IPM yang sedang yakni Kabupaten Malang, Jember, Kabupaten Probolinggo, Jombang, Tuban, Lamongan, Kediri, Blitar, Kota Malang, Kota probolinggo, Kota Pasuruan, Kota Mojokerto, Batu.

Sedangkan pada *cluster* 2 terdapat 20 Kabupaten/Kota dengan tingkat kualitas IPM yang rendah yakni Pacitan, Kabupaten Probolinggo, Trenggalek, Tulungagung, Blitar, Kediri, Lumajang, Banyuwangi, Bondowoso, Situbondo, Nganjuk, Kabupaten Madiun, Magetan, Ngawi, Bojonegoro, Bangkalan, Sampang, Pamekasan, Sumenep, Kota Madiun. Hasil clustering pada Indeks pembangunan Manusia tahun 2022 dan tahun 2023 akan divisualisasikan pada peta tingkat penilaian IPM. Peta dapat dilihat pada gambar 2. Pada warna merah menunjukkan penilaian *cluster* yang tinggi (*cluster* 0), warna hijau menunjukkan bahwa penilaian *cluster* sedang (*cluster* 1), dan warna kuning menunjukkan penilaian *cluster* rendah (*cluster* 2).



Gambar 2. Peta Kualitas Indeks Pembangunan Manusia Tahun 2022

### 3.2 Indeks Pembangunan Manusia Tahun 2023

Kualitas Indeks Pembangunan Manusia tahun 2022 dapat dibandingkan dengan Indeks Pembangunan Manusia 2023. Pada tabel 7. Dapat dilihat bahwa *Validity Index Cluster* dengan nilai terbesar berjumlah 2 *cluster*. Namun perlunya penyesuaian karakteristik data agar menghasilkan cluster pada Kabupaten/kota yang sesuai. Perbandingan yang akan dilakukan, memerlukan jumlah *cluster* yang sama. Jika

tahun 2022 menggunakan 3 *cluster*, maka 2023 juga menggunakan 3 *cluster*.

Tabel 7. *Validity Index Cluster*

Jumlah Cluter	Fuzzy Silhouette Index
2	0.8282
3	0.7742
4	0.8177

Berdasarkan hasil pada Tabel 7. diatas, IPM tahun 2023 menggunakan 3 cluster. Titik pusat yang dihasilkan dapat di lihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Titik Pusat Cluster Indeks Pembangunan Manusia tahun 2023

	TPT	AHH	GR	UMR
Cluster 0	4,153568	72,2749069	0,340226995	4364702,26
Cluster 1	6,354996436	73,3598763	0,363442649	4514394,62
Cluster 2	4,88668899	72,3959204	0,347336044	2869428,05

Pada hasil dari pusat cluster di tabel 5. Pada variabel Tingkat Pengangguran Tinggi cluster 0 merupakan yang terendah sebesar 4,153568, untuk cluster 1 merupakan cluster tertinggi 6,354996436, sedangkan cluster 2 merupakan cluster yang sedang sebesar 4,88668899.

Pada variabel Angka Harapan Hidup *cluster 0* merupakan yang terendah sebesar 72,2749069, untuk *cluster 1* merupakan cluster tertinggi sebesar 73,3598763, sedangkan *cluster 2* merupakan cluster yang sedang sebesar 72,3959204.

Pada variabel Gini Rasio *cluster 0* merupakan yang terendah sebesar 0,340226995, untuk *cluster 1* merupakan cluster tertinggi sebesar 0,363442649, sedangkan *cluster 2* merupakan cluster yang sedang sebesar 0,347336044.

Pada variabel Upah Minimum Regional *cluster 0* merupakan yang terendah sebesar 4364702,26, untuk *cluster 1* merupakan cluster tertinggi sebesar 4514394,62, sedangkan *cluster 2* merupakan cluster yang sedang sebesar 2869428,05.

Pada hasil *cluster* telah mengelompokkan Kabupaten/Kota pada setiap *cluster*-nya. Dapat dilihat pada hasil *cluster Fuzzy C-Means* di Jawa Timur dapat ditunjukkan pada Tabel 9.

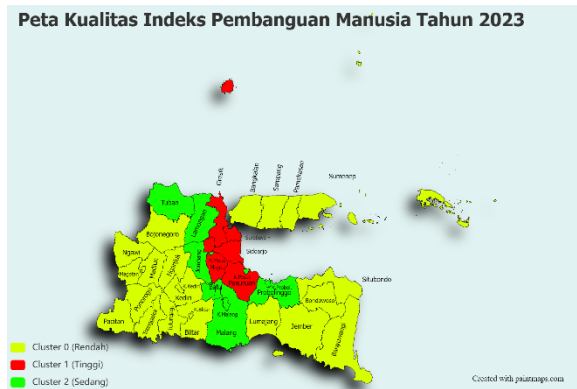
Tabel 9. Hasil *Fuzzy C-Means*

Cluster	Kabupaten/Kota
0	Pacitan, Ponorogo, Trenggalek, Tulungagung, Kabupaten Blitar, Kabupaten Kediri, Lumajang, Jember, Banyuwangi, Bondowoso, Situbondo, Nganjuk, Kabupaten Madiun, Magetan, Ngawi, Bojonegoro, Bangkalan, Sampang, Pamekasan, Sumenep, Kota Kediri, Kota Blitar, Madiun
1	Kabupaten Pasuruan, Sidoarjo, Kabupaten Mojokerto, Gresik, Surabaya
2	Kabupaten Malang, Kabupaten Probolinggo, Jombang, Tuban, Lamongan, Kota Malang, Kota Probolinggo, Kota Pasuruan, Kota Mojokerto, Batu

Dari hasil data yang didapat pada Tabel 9. Dapat diperoleh bahwa *cluster 0* terdapat 23 Kabupaten/Kota dengan tingkat kualitas IPM yang rendah yakni Pacitan, Ponorogo, Trenggalek, Tulungagung, Kabupaten Blitar, Kabupaten Kediri, Lumajang, Jember, Banyuwangi, Bondowoso, Situbondo, Nganjuk, Kabupaten Madiun, Magetan, Ngawi, Bojonegoro, Bangkalan, Sampang, Pamekasan, Sumenep, Kediri, Kota Blitar, Madiun, pada *cluster 1* terdapat 5 Kabupaten/Kota dengan tingkat kualitas IPM yang tinggi yakni Kabupaten Pasuruan, Sidoarjo, Kabupaten Mojokerto, Gresik, Surabaya.

Sedangkan pada *cluster 2* terdapat 11 Kabupaten/Kota dengan tingkat kualitas IPM yang sedang yakni Pacitan, Kabupaten Probolinggo, Kabupaten Malang, Kabupaten Probolinggo, Jombang, Tuban, Lamongan, Kota Malang, Kota Probolinggo, Kota Pasuruan, Kota Mojokerto, Batu. Hasil clustering pada Indeks Pembangunan Manusia tahun 2023 akan divisualisasikan pada peta tingkat penilaian IPM. Peta dapat dilihat pada gambar 3. Pada warna kuning menunjukkan penilaian *cluster* yang rendah (*cluster 0*), warna merah menunjukkan bahwa penilaian *cluster* tinggi (*cluster 1*), dan warna hijau menunjukkan penilaian *cluster* sedang (*cluster 2*).





Gambar 2. Peta Kualitas Indeks Pembangunan Manusia Tahun 2023

#### 4. KESIMPULAN

Pada hasil dan analisis di atas, berkesimpulan bahwa Metode *Fuzzy C-Means* efektif dalam analisis Indeks Pembangunan Manusia (IPM) di Jawa Timur pada tahun 2022 dan 2023. Analisis menghasilkan 3 *cluster* dengan menggunakan nilai plot koefisien *silhouette* pada masing-masing tahun. Pada tahun 2022, nilai *validity silhouette index* adalah 0,7759, sedangkan pada tahun 2023 adalah 0,7742.

Penelitian ini menggunakan 3 *cluster* yang mencakup kategori rendah, sedang, dan tinggi. Pada tahun 2022, *cluster* 0 (Tinggi) terdapat 5 Kabupaten/Kota, pada *cluster* 1 (Sedang) terdapat 13 Kabupaten/Kota, sedangkan pada *cluster* 2 terdapat 20 Kabupaten/Kota. Di tahun 2023, *cluster* 0 (Rendah) terdapat 23 Kabupaten/Kota, pada *cluster* 1 (Tinggi) terdapat 5 Kabupaten/Kota, sedangkan *cluster* 2 (Sedang) terdapat 10 Kabupaten/Kota. Ada beberapa Kabupaten/Kota yang mengalami perubahan Indeks Pembangunan Manusia yakni Jember, Kota Kediri, dan Kota Blitar. Pada Tahun 2022, Kabupaten/Kota tersebut berada pada *cluster* 1 (sedang), namun jika dilihat bahwa pada tahun 2023 kabupaten/Kota tersebut mengalami perubahan yakni berada di *cluster* 0 (Rendah).

#### DAFTAR PUSTAKA

Aghyari, G. F., & Kudus, A. (2023). Penerapan Algoritma Fuzzy Possibilistic C-Means (FPCM) pada Pengelompokan Kabupaten/Kota di Indonesia Berdasarkan Indikator Indeks Pembangunan Manusia Tahun 2022. Bandung Conference Series:

Statistics, 3(2), 113–120.  
<https://doi.org/10.29313/bcss.v3i2.7321>

Anwar, K. (2023). Analisis Pengaruh Pendidikan dan Gini Rasio terhadap Tingkat Pengangguran di Kalimantan Selatan. *Jurnal Humaniora Dan Ilmu Pendidikan*, 3(1), 9–18.  
<https://doi.org/10.35912/jahidik.v3i1.1993>

Ardian, R., Syahputra, M., & Dermawan, D. (2022). Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi Terhadap Tingkat Pengangguran Terbuka Di Indonesia. *Jurnal Ekonomi, Bisnis Dan Manajemen*, 1(3), 190–198.  
<https://journal.unimar-am-ni.ac.id/index.php/EBISMEN/article/view/90>

Armetiyana Margareta, Debby Rahmi Hg, I. (2021). Pengklasteran Provinsi-Propinsi Di Indonesia Berdasarkan Indikator Yang Mempengaruhi Indeks Pembangunan Manusia Menggunakan Metode Fuzzy C-Means. *Jurnal Matematika UNAND*, 10(1), 79.  
<https://doi.org/10.25077/jmu.10.1.79-86.2021>

Badan Pusat Statistik, B. J. T. (2023). Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Jawa TIMUR Tahun 2023. *Berita Resmi Statistik*, 74, 1–12.

Direktorat Analisis dan Pengembangan Statistik, & Penyunting. (2023). *Indeks Pembangunan Manusia*. 18, xxii+169.

Febriyani, M., Intan, P. K., & Widodo. (2020). Analisis Clustering Daerah Rawan Banjir Menggunakan Fuzzy C- Means ( Studi Kasus : Bakorwil 2 Jawa Timur ). *Jurnal Mahasiswa Matematika ALGEBRA*, 1(1), 33–40.

Indeks Pembangunan Manusia, T. B. J. 2023. (2023). *Indeks Pembangunan Manusia Provinsi Jawa Timur*. 6, xii + 62.

Marliana, L. (2022). Analisis Pengaruh Indeks Pembangunan Manusia, Pertumbuhan Ekonomi dan Upah Minimum terhadap Tingkat Pengangguran Terbuka di Indonesia. *Ekonomis: Journal of Economics and Business*, 6(1), 87.  
<https://doi.org/10.33087/ekonomis.v6i1.490>

- Novianti, F., Aisyah Yasmin, Y. R., & Novitasari, D. C. R. (2022). Penerapan Algoritma Fuzzy C-Means (FCM) dalam Pengelompokan Provinsi di Indonesia berdasarkan Indikator Penyakit Menular Manusia. *JUMANJI (Jurnal Masyarakat Informatika Unjani)*, 6(1), 23. <https://doi.org/10.26874/jumanji.v6i1.103>
- Nurlina, N., Ridha, A., & Asnidar, A. (2023). Analisis Determinan Indeks Pembangunan Manusia di Indonesia Tahun 1990-2021. *Jurnal Samudra Ekonomi Dan Bisnis*, 14(2), 239–250. <https://doi.org/10.33059/jseb.v14i2.7287>
- Pambagyo, R. M., Mukhtar, S., & ... (2024). Pengaruh Upah Minimum, Inflasi, dan PDRB terhadap Penyerapan Tenaga Kerja di Pulau Jawa. *ULIL ALBAB: Jurnal ...*, 3(2), 521–535. <https://journal-nusantara.com/index.php/JIM/article/view/2900>  
<https://journal-nusantara.com/index.php/JIM/article/download/2900/2343>
- Pamungkas, M. A., Oktavianto, H., & Umilasari, R. (2021). Perbandingan Fuzzy C-Means Dan K-Means Untuk Mengelompokkan Tingkat Buta Huruf Berdasarkan Provinsi Di Indonesia. 1–12.
- Putri, G. N. S., Ispriyanti, D., & Widiharih, T. (2022). Implementasi Algoritma Fuzzy C-Means Dan Fuzzy Possibilistics C-Means Untuk Klasterisasi Data Tweets Pada Akun Twitter Tokopedia. *Jurnal Gaussian*, 11(1), 86–98. <https://doi.org/10.14710/j.gauss.v11i1.33996>
- Rizal, A., Novitasari, D. C. R., & Hafiyusholeh, M. (2022). Pengelompokan Karyawan Berdasarkan Kesalahan Menggunakan Perbandingan Fuzzy C-Means, K-Means, dan Probabilistic Distance Clustering. *Jurnal Fourier*, 11(2), 69–77. <https://doi.org/10.14421/fourier.2022.112.69-77>
- Rosyidah, D., Saptono, A., & Wibowo, A. (2024). Pengaruh Indeks Pembangunan Manusia, Upah Minimum Regional dan Jumlah Penduduk Terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Jawa Timur Tahun 2015-2022. *Sinomika Journal*, 2(5)(5), 833–844. <https://publish.ojs-indonesia.com/index.php/SINOMIKA>
- Santika Santika, Nurlaila Hanum, Safuridar Safuridar, & Asnidar Asnidar. (2022). Pengaruh Jumlah Penduduk, Angka Harapan Hidup Dan Rata-Rata Lama Sekolah Terhadap Indeks Pembangunan Manusia Di Kabupaten Aceh Tamiang. *OPTIMAL Jurnal Ekonomi Dan Manajemen*, 2(4), 250–260. <https://doi.org/10.55606/optimal.v2i4.742>
- Sanusi, W., Zaky, A., & Afni, B. N. (2020). Analisis Fuzzy C-Means dan Penerapannya Dalam Pengelompokan Kabupaten/Kota di Provinsi Sulawesi Selatan Berdasarkan Faktor-faktor Penyebab Gizi Buruk. *Journal of Mathematics, Computations, and Statistics*, 2(1), 47. <https://doi.org/10.35580/jmathcos.v2i1.12458>
- Ulinnuha, N. (2020). Provincial Clustering in Indonesia Based on Plantation Production Using Fuzzy C-Means. *ITSMART: Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Informasi*, 9(1), 8–12.
- Ulinnuha, N., & Novitasari, D. C. R. (2023). Penerapan Fuzzy C-Means Untuk Pengelompokan Tingkat Kualitas Pendidikan Di Jawa Timur. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 14(2), 419–426. <https://doi.org/10.24176/simet.v14i2.9442>
- UNDP. (2022). Report 2021/2022 overview. <https://hdr.undp.org/system/files/documents/global-report-document/hdr2021-22overviewenpdf.pdf>