

## Penerapan Metode *K-Harmonic Means* pada Pengelompokan Kabupaten/Kota di Pulau Kalimantan Berdasarkan Indikator Perumahan dan Kesehatan Lingkungan

### *Application of the K-Harmonic Means Method for Clustering Regencies/Cities in Kalimantan Island Based on Housing and Environmental Health Indicators*

Fany Novianti<sup>1a)</sup>, Rito Goejantoro<sup>2</sup>, Memi Nor Hayati<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Statistika, FMIPA Universitas Mulawarman, Indonesia

<sup>a)</sup> Corresponding author: fany.n944@gmail.com

#### ABSTRACT

Cluster analysis is grouping data into subsets whose members have a high degree of similarity. One commonly used clustering technique is the *K-Harmonic Means*, an enhancement of the *K-Means* method, which assigns data to clusters by calculating the harmonic mean of distances from each point to the cluster centers. This study aims to determine the optimal grouping of Regencies/Cities in Kalimantan Island based on housing and environmental health indicators and to identify the best Dunn index value. Based on the grouping results, 5 groups were obtained with parameters ( $p$ ) = 2. The optimal Dunn index value is 0.2171. Based on the description of the housing and environmental health indicators, it can be seen that there are still disparities between groups in terms of access to basic services, such as the percentage of clean drinking water source services, the percentage of lighting sources from PLN electricity, the percentage of proper sanitation services, and the percentage of home ownership status. Group 4 and group 2 are groups that need special attention because they have the lowest achievements in several important indicators. In addition, the high percentage of primary fuel using gas and the percentage of the largest floor area not being land in all groups indicates that the condition is still good and the ecosystem needs to be maintained.

**Keywords:** dunn index, housing and environmental health indicators, *k-harmonic means*

#### 1. Pendahuluan

Analisis kelompok adalah metode untuk membagi kumpulan data ke dalam beberapa kelompok, di mana objek-objek dalam kelompok yang sama memiliki kesamaan karakteristik yang tinggi, namun berbeda secara signifikan dengan objek-objek di kelompok lain (Tan dkk., 2006). Salah satu metode analisis kelompok adalah *K-Means* (Prasetyo, 2012). Metode *K-Means* bekerja dengan menentukan titik pusat kelompok secara acak, lalu memperbaruinya secara iteratif hingga tercapai kondisi konvergen menggunakan fungsi tujuan berupa minimisasi jumlah kuadrat jarak antar elemen dengan pusat kelompoknya (Widiartha, 2011). Namun, *K-Means* memiliki kelemahan yaitu hasil kelompok akhir sangat dipengaruhi oleh pemilihan titik awal pusat kelompok yang menjadikan metode ini sensitif terhadap inisialisasi awal (Yunistya dkk., 2022).

Zhang, dkk. (1999), memperkenalkan metode alternatif yang dinamakan *K-Harmonic Means* (KHM). KHM dikembangkan sebagai penyempurnaan metode *K-Means*. Pengembangan dalam metode KHM adalah penentuan titik pusat kelompok, di mana setiap pusat kelompok dihitung berdasarkan perhitungan rata-rata harmonik (Salsabila dkk., 2022). Secara konseptual, KHM menggunakan pendekatan harmonik sebagai bagian dari komponen fungsi tujuannya (Sofia, 2023). Pendekatan harmonik menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi ketika terdapat dua atau lebih pusat yang posisinya dekat satu sama lain. Dengan demikian, posisi titik pusat dapat tersebar lebih merata sehingga dapat meningkatkan kualitas pengelompokan dibandingkan *K-Means* (Salsabila dkk., 2022).

Setelah dilakukan pengelompokan menggunakan metode KHM, selanjutnya dilakukan pengukuran kinerja atau evaluasi hasil kelompok. Evaluasi hasil kelompok dilakukan untuk mengetahui seberapa baik kelompok yang diperoleh melalui analisis kelompok. Salah satu indeks validitas yang dapat digunakan untuk mengevaluasi hasil kelompok adalah *Dunn index* (Hair dkk., 2010). *Dunn index* merupakan indeks validitas yang digunakan untuk mengukur keoptimalan pengelompokan dengan menggabungkan evaluasi kohesi dan separasi antar kelompok. (Hidayatullah dkk., 2024).

Adapun penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menggunakan metode KHM, yaitu pada penelitian Gunadi, dkk. (2019) mengenai pengelompokan siswa Bintara di Polda dengan metode *K-Means* dan KHM memperoleh kesimpulan bahwa nilai *silhouette coefficient* (SC) yang dihasilkan KHM lebih tinggi daripada *K-Means* sehingga metode KHM lebih baik dibandingkan *K-Means*. Penelitian Salsabila, dkk. (2022) mengenai metode KHM dengan studi kasus tentang faktor utama yang menyebabkan stunting di Indonesia memperoleh kesimpulan bahwa pengelompokan menggunakan metode KHM menghasilkan 3 kelompok optimal dengan nilai SC sebesar 0,3. Adapun penelitian sebelumnya yang menggunakan evaluasi hasil kelompok *Dunn index*, yaitu pada penelitian Hidayatullah, dkk. (2024) mengenai metode *K-Means* menggunakan evaluasi hasil

kelompok Dunn *index* dengan studi kasus indikator pendidikan di Indonesia memperoleh kesimpulan bahwa pengelompokan optimal terdiri dari 5 kelompok. Nilai Dunn *index* yang diperoleh dari penelitian ini sebesar 0,332. Selain pada data siswa, stunting, dan indikator pendidikan, metode KHM dengan menggunakan evaluasi hasil kelompok Dunn *index* juga dapat diaplikasikan untuk mengelompokkan data indikator perumahan dan kesehatan lingkungan.

Perumahan adalah kumpulan rumah yang digunakan sebagai tempat tinggal dilengkapi dengan infrastruktur dasar seperti telepon, listrik, air bersih, saluran pembuangan limbah, dan jalan. Menurut *World Health Organization* (WHO), kesehatan lingkungan mengacu pada keseimbangan ekologi yang diperlukan manusia dan lingkungannya agar dapat meningkatkan kesejahteraan manusia (Zaman & Muhamadiah, 2021). Menurut BPS (2024), perumahan dan lingkungan yang sehat adalah faktor penting dalam meningkatkan kualitas hidup masyarakat. Rumah layak huni harus memenuhi beberapa karakteristik seperti ketahanan bangunan, akses air minum layak, dan sanitasi layak.

BPS (2024) mencatat bahwa pada tahun 2023 terdapat perbedaan kondisi perumahan dan kesehatan lingkungan antar provinsi di Pulau Kalimantan. Berdasarkan data dari BPS, Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Barat mempunyai layanan sanitasi layak terendah dengan persentase kurang dari 80%, yaitu Kalimantan Tengah sebesar 76,31% dan Kalimantan Barat sebesar 79,89%. Pada Provinsi Kalimantan Selatan sebesar 82,89% dan Provinsi Kalimantan Utara sebesar 84,22%. Kemudian, Provinsi Kalimantan Timur memiliki persentase layanan sanitasi layak tertinggi sebesar 91,21%. Sementara itu, dua provinsi yang persentase layanan sumber air minum layak kurang dari 80% adalah Kalimantan Selatan sebesar 76,29% dan Kalimantan Tengah sebesar 77,72%. Pada Provinsi Kalimantan Barat sebesar 82,10%, Provinsi Kalimantan Timur sebesar 87,90%, dan Provinsi Kalimantan Utara memiliki persentase tertinggi sebesar 90,19%. Hal tersebut menunjukkan perbedaan kondisi antar provinsi di Pulau Kalimantan. Oleh karena itu, prioritas penanganan masalah perumahan dan kesehatan lingkungan di setiap daerah berbeda sehingga diperlukan strategi pengelompokan berdasarkan karakteristik yang sama.

Penelitian mengenai indikator perumahan dan kesehatan lingkungan telah dibahas pada penelitian sebelumnya. Saidah, dkk. (2022) melakukan pengelompokan Provinsi di Indonesia menggunakan metode *Partitioning Around Medoids* memperoleh kesimpulan bahwa dihasilkan 2 kelompok optimal. Fadlurohman & Nur (2023) melakukan pengelompokan Provinsi di Indonesia menggunakan metode *K-Medoids* memperoleh kesimpulan bahwa dihasilkan 2 kelompok optimal.

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh pengelompokan yang optimal Kabupaten/Kota di Kalimantan berdasarkan indikator perumahan dan kesehatan lingkungan tahun 2023 dengan metode KHM serta memperoleh nilai Dunn *index* optimal.

## 2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan data sekunder, yaitu indikator perumahan dan kesehatan lingkungan di 56 Kabupaten/Kota di Pulau Kalimantan tahun 2023. Data diambil melalui *website* <https://www.bps.go.id/>.

**Tabel 1.** Variabel Penelitian

Notasi	Variabel
$X_1$	Persentase layanan sumber air minum layak
$X_2$	Persentase sumber penerangan dari listrik PLN
$X_3$	Persentase layanan sanitasi layak
$X_4$	Persentase status kepemilikan rumah milik sendiri
$X_5$	Persentase bahan bakar utama memasak menggunakan gas
$X_6$	Persentase lantai terluas bukan tanah

Tahapan analisis data dilakukan dengan bantuan *software R* sebagai berikut:

- Melakukan statistika deskriptif terhadap variabel penelitian
- Mendeteksi ada atau tidaknya multikolinieritas menggunakan korelasi Pearson *product moment* berdasarkan persamaan (1) (Gujarati & Porter, 2010).

$$r_{X_a X_b} = \frac{n(\sum_{i=1}^n x_{ia} x_{ib}) - (\sum_{i=1}^n x_{ia})(\sum_{i=1}^n x_{ib})}{\sqrt{n(\sum_{i=1}^n x_{ia}^2) - (\sum_{i=1}^n x_{ia})^2} \sqrt{n(\sum_{i=1}^n x_{ib}^2) - (\sum_{i=1}^n x_{ib})^2}}, j=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

- Melakukan pengelompokan data menggunakan metode KHM dengan mengikuti langkah-langkah berikut: (Yunistya dkk., 2022).
  - Menentukan banyak kelompok ( $K$ ), yaitu 2, 3, 4, dan 5.
  - Menentukan titik pusat awal kelompok secara acak dari data yang ada.
  - Menghitung nilai fungsi tujuan berdasarkan persamaan (2).

$$KHM(X, C) = \sum_{i=1}^n \frac{K}{\sum_{k=1}^K \frac{1}{\|x_i - c_k\|^p}} \quad (2)$$

- d. Menghitung derajat keanggotaan  $m(c_k|x_i)$  untuk setiap titik pada pusat kelompok  $c_k$  berdasarkan persamaan (3).

$$m(c_k|x_i) = \frac{\|x_i - c_k\|^{-p-2}}{\sum_{k=1}^K \|x_i - c_k\|^{-p-2}} \tag{3}$$

- e. Menghitung nilai bobot  $w(x_i)$  untuk tiap data  $x_i$ , menggunakan persamaan (4).

$$w(x_i) = \frac{\sum_{k=1}^K \|x_i - c_k\|^{-p-2}}{(\sum_{k=1}^K \|x_i - c_k\|^{-p})^2} \tag{4}$$

- f. Melakukan perhitungan ulang posisi titik pusat kelompok  $c_k$  untuk seluruh data dengan mempertimbangkan derajat keanggotaan dan bobot masing-masing data berdasarkan persamaan (5).

$$c_k = \frac{\sum_{i=1}^n m(c_k|x_i) \cdot w(x_i) \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n m(c_k|x_i) \cdot w(x_i)} \tag{5}$$

- g. Mengulangi langkah c sampai f hingga memperoleh nilai fungsi tujuan dengan kondisi  $|KHM(X, C)[iter] - KHM(X, C)[iter - 1]| \leq \epsilon = 10^{-5}$ .

- h. Menetapkan keanggotaan data pada suatu kelompok sesuai dengan derajat keanggotaan  $x_i$  terhadap  $c_k$ .

4. Menghitung nilai Dunn *index* untuk mengetahui kelompok optimal dari hasil pengelompokan dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Menghitung nilai Dunn *index* menggunakan persamaan (6).

$$DI = \min_{k=1, \dots, K} \left\{ \min_{t=k+1, \dots, K} \left( \frac{d(c_k, c_t)}{\max_{k=1, \dots, K} \{diameter(c_k)\}} \right) \right\} \tag{6}$$

- b. Menentukan jumlah kelompok optimal berdasarkan nilai Dunn *index* terbesar.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Deskripsi Data

Deskripsi data penelitian dilakukan untuk memberikan gambaran data secara umum. Deskripsi data pada 6 variabel indikator perumahan dan kesehatan lingkungan berdasarkan 56 Kabupaten/Kota di Pulau Kalimantan tahun 2023 disajikan dengan statistika deskriptif berikut.

Tabel 2. Statistika Deskriptif

Variabel	Minimum	Maksimum	Rata-Rata	Simpangan Baku
$X_1$	48,98	99,91	79,22	13,83
$X_2$	63,75	100	91,81	9,94
$X_3$	56,66	98,06	81,70	10,61
$X_4$	65,36	96,89	84,58	8,18
$X_5$	67,38	99,98	92,82	5,55
$X_6$	98,59	100	99,77	0,32

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa rata-rata persentase rumah tangga di Pulau Kalimantan yang memiliki akses terhadap sumber air minum layak adalah sebesar 79,22%. Berdasarkan Tabel 2, Kabupaten Mahakam Ulu merupakan kabupaten di Pulau Kalimantan dengan persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap layanan sumber air minum layak terendah yaitu sebesar 48,98% dan Kota Tarakan merupakan kota di Pulau Kalimantan dengan persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap layanan sumber air minum layak tertinggi yaitu sebesar 99,91%. Adapun simpangan baku persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap layanan sumber air minum layak yaitu sebesar 13,83%.

Persentase rumah tangga di Pulau Kalimantan menurut sumber penerangan dari listrik PLN memiliki rata-rata sebesar 91,81%. Berdasarkan Tabel 2, Kabupaten Murung Raya merupakan kabupaten di Pulau Kalimantan dengan persentase rumah tangga menurut sumber penerangan dari listrik PLN terendah yaitu sebesar 63,75% dan Kota Pontianak, Kota Palangka Raya, Kota Banjarmasin, Kota Banjar Baru, Kota Samarinda, dan Kota Tarakan merupakan wilayah di Pulau Kalimantan dengan persentase rumah tangga menurut sumber penerangan dari listrik PLN tertinggi yaitu sebesar 100%. Adapun simpangan baku persentase rumah tangga menurut sumber penerangan dari listrik PLN yaitu sebesar 9,94%.

Persentase rumah tangga di Pulau Kalimantan yang memiliki akses terhadap layanan sanitasi layak memiliki rata-rata sebesar 81,70%. Berdasarkan Tabel 2, Kabupaten Barito Kuala merupakan kabupaten di Pulau Kalimantan dengan persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap layanan sanitasi layak terendah yaitu sebesar 56,66% dan Kota Pontianak merupakan kota di Pulau Kalimantan dengan persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap layanan sanitasi layak tertinggi yaitu sebesar 98,06%. Adapun simpangan baku persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap layanan sanitasi layak yaitu 10,61%.

Persentase rumah tangga di Pulau Kalimantan menurut status kepemilikan rumah milik sendiri memiliki

rata-rata sebesar 84,58%. Berdasarkan Tabel 2, Kota Balikpapan merupakan kota di Pulau Kalimantan dengan persentase rumah tangga menurut status kepemilikan rumah milik sendiri terendah yaitu sebesar 65,36% dan Kabupaten Sekadau merupakan kabupaten di Pulau Kalimantan dengan persentase rumah tangga menurut status kepemilikan rumah milik sendiri tertinggi yaitu sebesar 96,89%. Adapun simpangan baku persentase rumah tangga menurut status kepemilikan rumah milik sendiri yaitu sebesar 8,18%.

Persentase rumah tangga di Pulau Kalimantan menurut bahan bakar utama memasak menggunakan gas memiliki rata-rata sebesar 92,82%. Berdasarkan Tabel 2, Kabupaten Malinau merupakan kabupaten di Pulau Kalimantan dengan persentase rumah tangga menurut bahan bakar utama memasak menggunakan gas terendah yaitu sebesar 67,38% dan Kota Bontang merupakan kota di Pulau Kalimantan dengan persentase rumah tangga menurut bahan bakar utama memasak menggunakan gas tertinggi yaitu sebesar 99,98%. Adapun simpangan baku persentase rumah tangga menurut bahan bakar utama memasak menggunakan gas yaitu sebesar 5,55%.

Persentase rumah tangga di Pulau Kalimantan menurut lantai terluas bukan tanah memiliki rata-rata sebesar 99,77%. Berdasarkan Tabel 2, Kabupaten Pulang Pisau merupakan kabupaten di Pulau Kalimantan dengan persentase rumah tangga menurut lantai terluas bukan tanah terendah yaitu sebesar 98,59% dan Kabupaten Sanggau, Kabupaten Kapuas Hulu, Kabupaten Sekadau, Kabupaten Melawi, Kota Pontianak, Kabupaten Barito Selatan, Kabupaten Barito Utara, Kabupaten Gunung Mas, Kabupaten Barito Timur, Kota Banjar, Kabupaten Hulu Sungai Selatan, Kabupaten Hulu Sungai Tengah, Kabupaten Hulu Sungai Utara, Kabupaten Balangan, Kabupaten Paser, Kabupaten Kutai Barat, Kabupaten Berau, Kabupaten Mahakam Ulu, Kota Bontang, Kabupaten Malinau, dan Kabupaten Bulungan merupakan wilayah di Pulau Kalimantan dengan persentase rumah tangga menurut lantai terluas bukan tanah tertinggi yaitu sebesar 100%. Adapun simpangan baku persentase rumah tangga menurut lantai terluas bukan tanah yaitu sebesar 0,32%.

### 3.2 Pendeteksian Multikolinieritas

Pendeteksian multikolinieritas dilakukan dengan menghitung nilai koefisien korelasi antar variabel menggunakan persamaan (1). Nilai koefisien korelasi antar variabel diperoleh dengan bantuan *software R* sebagai berikut.

**Tabel 3.** Nilai Koefisien Korelasi

Variabel	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
$X_1$	1	0,4907	0,4509	-0,3834	0,3067	-0,0426
$X_2$	0,4907	1	0,3628	-0,1839	0,2662	-0,1884
$X_3$	0,4509	0,3628	1	-0,3968	0,1560	0,2223
$X_4$	-0,3834	-0,1839	-0,3968	1	-0,2551	-0,0497
$X_5$	0,3067	0,2662	0,1560	-0,2551	1	-0,0950
$X_6$	-0,0426	-0,1884	0,2223	-0,0497	-0,0950	1

Berdasarkan Tabel 3, nilai korelasi antar variabel berada di bawah 0,8 yang menandakan tidak terjadi gejala multikolinieritas antar variabel penelitian sehingga dapat dilanjutkan ke dalam proses pengelompokan dengan metode KHM.

### 3.3 Pengelompokan dengan Metode KHM

Pengelompokan dengan menggunakan metode KHM perlu menentukan banyak kelompok yang akan terbentuk dan parameter ( $p$ ) yang digunakan. Adapun proses pengelompokan menggunakan metode KHM adalah sebagai berikut.

- a. Menentukan banyak kelompok ( $K$ )  
Menentukan banyak kelompok ( $K$ ) yaitu 2, 3, 4 dan 5 kelompok dengan menggunakan parameter ( $p$ ) yaitu 2, 3, dan 4. Sebagai contoh, perhitungan dilakukan dengan menggunakan banyak kelompok ( $K$ ) yaitu 2.
- b. Memilih secara acak posisi awal titik pusat kelompok  
Memilih secara acak posisi titik pusat kelompok dengan banyak kelompok ( $K$ ) adalah 2. Adapun hasil dari penentuan pusat kelompok awal dengan bantuan *software R* yaitu data ke-31 (Kota Banjar) dan data ke-15 (Kotawaringin Barat).
- c. Menghitung nilai fungsi tujuan  
Perhitungan terhadap fungsi tujuan mengacu pada persamaan (2) dengan parameter ( $p$ ) yang digunakan 2, 3, dan 4. Sebagai contoh perhitungan nilai fungsi tujuan pada iterasi pertama untuk  $p = 2$  dengan bantuan *software R* yaitu 35.040,26. Untuk perhitungan dengan menggunakan  $p = 3$  dan  $p = 4$  sama dengan perhitungan  $p = 2$  hanya saja diubah nilai parameternya ( $p$ ) saja.
- d. Menghitung derajat keanggotaan  
Derajat keanggotaan digunakan untuk menentukan data pengamatan masuk ke dalam kelompok dengan melihat besaran peluang data pengamatan pada pusat kelompok dan dihitung berdasarkan persamaan (3). Hasil derajat keanggotaan setiap data pengamatan yang didapatkan pada saat iterasi pertama ditampilkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Derajat keanggotaan Data Pengamatan pada  $K = 2$  dengan  $p = 2, 3,$  dan  $4$  pada Iterasi Pertama

No	Kabupaten/Kota	$p = 2$		$p = 3$		$p = 4$	
		$m(c_1 x_i)$	$m(c_2 x_i)$	$m(c_1 x_i)$	$m(c_2 x_i)$	$m(c_1 x_i)$	$m(c_2 x_i)$
1	Sambas	0,0157	<b>0,9842</b>	0,0056	<b>0,9943</b>	0,0020	<b>0,9979</b>
2	Bengkayang	0,3139	<b>0,6860</b>	0,2734	<b>0,7265</b>	0,2364	<b>0,7635</b>
3	Landak	<b>0,8927</b>	0,1072	<b>0,9339</b>	0,0660	<b>0,9600</b>	0,0399
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
56	Tarakan	0,1242	<b>0,8757</b>	0,0800	<b>0,9199</b>	0,0507	<b>0,9492</b>

Berdasarkan Tabel 4, nilai yang dicetak tebal pada tabel menunjukkan nilai derajat keanggotaan yang lebih besar untuk setiap kabupaten/kota pada iterasi pertama. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kabupaten/kota memiliki kedekatan paling besar terhadap pusat suatu kelompok sehingga berpeluang lebih tinggi untuk bergabung ke dalamnya. Sementara itu, nilai yang tidak dicetak tebal menunjukkan derajat keanggotaan yang lebih rendah dan menunjukkan bahwa kabupaten/kota kurang dekat dengan pusat kelompok lainnya.

e. Menghitung nilai bobot

Perhitungan nilai bobot dilakukan untuk setiap data pengamatan berdasarkan persamaan (4). Nilai bobot mencerminkan sejauh mana pengaruh suatu data terhadap penentuan keanggotaan dalam kelompok tertentu. Nilai bobot yang diperoleh pada iterasi pertama ditampilkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Nilai Bobot Data Pengamatan pada  $K = 2$  dengan  $p = 2, 3,$  dan  $4$  pada Iterasi Pertama

No	Kabupaten/Kota	Nilai Bobot		
		$p = 2$	$p = 3$	$p = 4$
1	Sambas	0,8005	8,6680	85,9990
2	Bengkayang	0,5186	8,1824	127,8213
3	Landak	0,6176	16,3109	404,9350
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
56	Tarakan	0,6025	15,9240	398,3150

f. Menghitung ulang pusat kelompok baru

Proses pembaruan pusat kelompok dilakukan menggunakan persamaan (5). Hasil pusat kelompok baru yang didapatkan pada iterasi pertama ditampilkan pada Tabel 6 berikut.

**Tabel 6.** Pusat Kelompok Baru yang Terbentuk untuk  $K = 2$  dengan  $p = 2, 3,$  dan  $4$  pada Iterasi Pertama

Kelompok	$p = 2$					
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
$c_1$	72,2714	90,7874	78,8286	86,6144	91,9005	99,7292
$c_2$	87,8889	94,9686	86,2123	82,1556	94,0919	99,8168
Kelompok	$p = 3$					
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
$c_1$	69,9206	86,8564	76,4660	86,8643	91,4223	99,7485
$c_2$	87,0984	93,6097	85,1112	81,4082	93,9080	99,8178
Kelompok	$p = 4$					
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
$c_1$	67,4864	83,3283	74,9908	87,1268	90,6102	99,7782
$c_2$	85,9166	91,9294	83,8418	81,0946	93,4923	99,8187

g. Perhitungan nilai fungsi tujuan pada iterasi selanjutnya

Pada iterasi kedua untuk  $p = 2$ , nilai fungsi tujuan dengan pusat kelompok yang telah diperbarui menggunakan bantuan *software R* menghasilkan nilai sebesar 25.489,41. Berdasarkan selisih dari nilai fungsi tujuan iterasi kedua dan iterasi pertama untuk  $p = 2$  adalah  $9.550,85 > \epsilon = 10^{-5}$  maka iterasi dilanjutkan. Perhitungan yang sama dilakukan pada iterasi selanjutnya dengan mengulang kembali langkah c sampai f hingga didapatkan nilai fungsi tujuan dengan kondisi  $|KHM(X, C)[iter] - KHM(X, C)[iter - 1]| \leq \epsilon = 10^{-5}$ . Nilai fungsi tujuan pada  $K = 2$  saat iterasi berhenti ditampilkan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Nilai Fungsi Tujuan pada  $K = 2$

Parameter ( $p$ )	Nilai Fungsi Tujuan	Iterasi
2	24.491,13	16
3	516.560,60	13
4	11.057.138	33

Adapun perhitungan hasil akhir derajat keanggotaan pada saat iterasi berhenti, yaitu  $p = 2$  pada iterasi ke-16,  $p = 3$  pada iterasi ke-13, dan  $p = 4$  pada iterasi ke-33 ditampilkan pada Tabel 8.

**Tabel 8.** Derajat keanggotaan Data Pengamatan pada  $K = 2$  dengan  $p = 2, 3,$  dan  $4$  pada Iterasi Terakhir

No	Kabupaten/Kota	$p = 2$		$p = 3$		$p = 4$	
		$m(c_1 x_i)$	$m(c_2 x_i)$	$m(c_1 x_i)$	$m(c_2 x_i)$	$m(c_1 x_i)$	$m(c_2 x_i)$
1	Sambas	0,0334	<b>0,9665</b>	0,0112	<b>0,9887</b>	0,0043	<b>0,9956</b>
2	Bengkayang	0,1032	<b>0,8967</b>	0,0476	<b>0,9523</b>	0,0206	<b>0,9793</b>
3	Landak	<b>0,9690</b>	0,0309	<b>0,9799</b>	0,0200	<b>0,9851</b>	0,0148
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
56	Tarakan	0,0569	<b>0,9440</b>	0,0175	<b>0,9824</b>	0,0065	<b>0,9934</b>

h. Menetapkan keanggotaan data pengamatan pada suatu kelompok

Proses penetapan anggota kelompok ditentukan berdasarkan derajat keanggotaan tertinggi pada saat iterasi berhenti. Sebagai contoh, hasil penetapan keanggotaan data pada  $K = 2$  dengan  $p = 2$  ditampilkan pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Penetapan Keanggotaan Data Pengamatan pada  $K = 2$  dengan  $p = 2$

Kelompok	Banyak Anggota	Kabupaten/Kota
1	28	Landak, Sanggau, Ketapang, Sintang, Kapuas Hulu, Sekadau, Melawi, Kotawaringin Timur, Kapuas, Barito Selatan, Barito Utara, Lamandau, Seruyan, Katingan, Pulang Pisau, Gunung Mas, Barito Timur, Murung Raya, Tanah Laut, Kotabaru, Banjar, Barito Kuala, Hulu Sungai Selatan, Tanah Bumbu, Paser, Kutai Timur, Mahakam Ulu, Malinau.
2	28	Sambas, Bengkayang, Mempawah, Kayong Utara, Kubu Raya, Pontianak, Singkawang, Kotawaringin Barat, Sukamara, Palangka Raya, Tapin, Hulu Sungai Tengah, Hulu Sungai Utara, Tabalong, Balangan, Banjarmasin, Banjar Baru, Kutai Barat, Kutai Kartanegara, Berau, Penajam Paser Utara, Balikpapan, Samarinda, Bontang, Bulungan, Tana Tidung, Nunukan, Tarakan.

### 3.4 Evaluasi Hasil Pengelompokan dengan Dunn Index

Pada tahap ini dilakukan evaluasi menggunakan Dunn index untuk mengetahui kualitas dari hasil pengelompokan. Adapun perbandingan nilai Dunn index ditampilkan pada Tabel 10.

**Tabel 10.** Nilai Dunn Index

Banyak Kelompok	Parameter ( $p$ )	Dunn Index
2	2	0,1985
	3	0,1814
	4	0,1272
3	2	0,1588
	3	0,1680
	4	0,1615
4	2	0,0770
	3	0,1663
	4	0,1932
5	2	<b>0,2171</b>
	3	0,1830
	4	0,1830

Berdasarkan Tabel 10 dapat diketahui bahwa nilai Dunn index yang terbesar, yaitu pada 5 kelompok dengan parameter ( $p$ ) = 2, yaitu 0,2171. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kelompok optimal adalah 5 kelompok dengan  $p = 2$ .

Berdasarkan hasil pengelompokan untuk 5 kelompok dengan  $p = 2$ , maka Kabupaten/Kota yang tergabung dalam suatu kelompok ditampilkan pada Tabel 11.

**Tabel 11.** Hasil Pengelompokan untuk 5 Kelompok dengan  $p = 2$

Kelompok	Banyak Anggota	Kabupaten/Kota
1	19	Sambas, Bengkayang, Mempawah, Kayong Utara, Kubu Raya, Singkawang, Kotawaringin Barat, Kotawaringin Timur, Sukamara, Katingan, Tapin, Hulu

Kelompok	Banyak Anggota	Kabupaten/Kota
		Sungai Tengah, Hulu Sungai Utara, Balangan, Kutai Barat, Kutai Kartanegara, Penajam Paser Utara, Tana Tidung, Nunukan.
2	12	Landak, Sanggau, Ketapang, Kapuas Hulu, Melawi, Kapuas, Barito Selatan, Barito Utara, Pulang Pisau, Tanah Laut, Kotabaru, Barito Kuala.
3	8	Pontianak, Palangka Raya, Banjarmasin, Berau, Balikpapan, Samarinda, Bontang, Tarakan.
4	9	Sintang, Sekadau, Lamandau, Seruyan, Gunung Mas, Murung Raya, Kutai Timur, Mahakam Ulu, Malinau.
5	8	Barito Timur, Banjar, Hulu Sungai Selatan, Tabalong, Tanah Bumbu, Banjar Baru, Paser, Bulungan.

### 3.5 Profilisasi Kelompok Optimal

Profilisasi kelompok dilakukan dengan cara menghitung rata-rata variabel dari setiap kelompok. Adapun hasil profilisasi disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Profilisasi Kelompok Optimal

Kelompok	Variabel					
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
1	88,3242	95,0310	84,0178	86,9273	93,1900	99,7631
2	68,5458	91,7858	67,3166	89,3241	92,5400	99,6158
3	97,2475	99,0437	92,1700	70,5687	97,9525	99,8300
4	65,9400	72,2277	79,9488	85,4766	88,7322	99,8577
5	70,5512	99,0087	89,2437	84,9250	91,8387	99,8650

Berdasarkan Tabel 12 diketahui bahwa kelompok 3 memiliki nilai tertinggi pada persentase layanan sumber air minum layak yaitu 97,2475% dan terendah kelompok 4 memiliki nilai terendah yaitu 65,94%. Hal ini menunjukkan bahwa kelompok 4 perlu mendapat perhatian khusus dari pemerintah pada persentase layanan sumber air minum layak karena memiliki nilai paling rendah dibandingkan dengan kelompok lain. Diketahui bahwa persentase sumber penerangan dari listrik PLN tertinggi pada kelompok 3 yaitu 99,0437% dan terendah pada kelompok 4 yaitu 72,2277%. Kondisi ini menegaskan bahwa kelompok 4 perlu mendapat perhatian khusus dari pemerintah pada persentase sumber penerangan dari listrik PLN karena memiliki nilai paling rendah dibandingkan dengan kelompok lain. Diketahui bahwa persentase layanan sanitasi layak tertinggi terdapat pada kelompok 3 yaitu 92,17% dan terendah pada kelompok 2 yaitu 67,3166%. Hal ini menunjukkan bahwa kelompok 2 perlu mendapat perhatian khusus dari pemerintah pada persentase layanan sanitasi layak karena memiliki nilai paling rendah dibandingkan dengan kelompok lain. Diketahui bahwa persentase status kepemilikan rumah milik sendiri tertinggi terdapat pada kelompok 2 yaitu 89,3241% dan terendah pada kelompok 3 yaitu 70,5687%. Hal ini menunjukkan bahwa kelompok 3 perlu mendapat perhatian khusus dari pemerintah pada persentase status kepemilikan rumah milik sendiri karena memiliki nilai paling rendah dibandingkan dengan kelompok lain.

Diketahui bahwa persentase bahan bakar utama memasak menggunakan gas pada seluruh kelompok memiliki persentase lebih dari 80%. Kondisi ini menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar gas sudah menjadi kebiasaan mayoritas rumah tangga di seluruh kelompok yang mencerminkan peningkatan kesadaran masyarakat tentang ramah lingkungan. Oleh karena itu, upaya pemerintah selanjutnya dapat difokuskan pada pemeliharaan keberlanjutan distribusi gas, serta memperluas akses bagi wilayah yang masih memiliki keterbatasan infrastruktur energi. Diketahui bahwa persentase lantai terluas bukan tanah pada seluruh kelompok memiliki persentase lebih dari 90%. Hal ini menunjukkan bahwa bahwa kualitas dasar hunian di seluruh kelompok sudah baik, khususnya dalam aspek kenyamanan dan kesehatan lingkungan rumah. Capaian ini mencerminkan keberhasilan pembangunan infrastruktur perumahan dan peningkatan taraf hidup masyarakat. Oleh karena itu, upaya pemerintah selanjutnya dapat difokuskan pada peningkatan kualitas komponen rumah lainnya, seperti dinding, atap, atau kepadatan hunian, serta pemeliharaan keberlanjutan kondisi hunian yang sudah tercapai.

Berdasarkan hasil interpretasi indikator perumahan dan kesehatan lingkungan terlihat bahwa masih terdapat ketimpangan antar kelompok dalam hal akses terhadap layanan dasar. Kelompok 4 dan kelompok 2 menjadi sasaran utama kebijakan pemerintah karena kondisinya memiliki capaian terendah pada beberapa indikator penting. Di sisi lain, tingginya persentase bahan bakar utama menggunakan gas dan persentase lantai terluas bukan tanah pada semua kelompok menunjukkan bahwa sudah berada pada kondisi baik dan perlu dijaga keberlanjutannya. Oleh karena itu, kebijakan yang diarahkan pada pemerataan akses layanan dasar, peningkatan kualitas komponen hunian, serta pemeliharaan keberhasilan capaian yang sudah tinggi menjadi langkah strategis untuk memperbaiki dan menjaga kualitas hidup masyarakat secara berkelanjutan.

#### 4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan kesimpulan bahwa pada pengelompokan metode KHM didapatkan 5 kelompok dengan parameter ( $p$ ) = 2. Hasil yang terbentuk yaitu kelompok 1 beranggotakan 19 Kabupaten/Kota, kelompok 2 beranggotakan 12 Kabupaten/Kota, kelompok 3 beranggotakan 8 Kabupaten/Kota, kelompok 4 beranggotakan 9 Kabupaten/Kota, dan kelompok 5 beranggotakan 8 Kabupaten/Kota. Nilai Dunn *index* untuk hasil kelompok optimal adalah 0,2171.

#### 5 Daftar Pustaka

- BPS. (2024). *Indikator Perumahan dan Kesehatan Lingkungan 2024*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Fadlurohman, A., & Nur, I. M. (2023). Pengelompokan Provinsi di Indonesia Berdasarkan Indikator Perumahan dan Kesehatan Lingkungan Menggunakan Metode K-Medoids. *Prosiding Seminar UNIMUS*, 6, 1168–1180.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. (2010). *Dasar-Dasar Ekonometrika Edisi 5*. Jakarta: Salemba Empat.
- Gunadi, I. G. A., Putri, D. P. S., Mistanada, I. N., Prayoga, G. S., & Rahayu, N. M. Y. D. (2019). Analisis Cluster Pada Pengelompokan Siswa Diktuk Bintara Polri TA. 2018/2019, SPN Singaraja - Polda Bali Menggunakan K-Means dan K-Harmonic Means. *Jurnal Ilmiah SINUS (JIS)*, 17(2), 13–22.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate Data Analysis*. United State of America: Prentice-Hall International, Inc.
- Hidayatullah, Martha, S., & Aprizkiyandari, S. (2024). Analisis K-Means Menggunakan Metode Dunn Index Dalam Menentukan Jumlah Cluster Optimal. *Buletin Ilmiah Math, Stat, Dan Terapannya (Bimaster)*, 13(3), 303–310.
- Prasetyo, E. (2012). *Data Mining: Konsep dan Aplikasi Menggunakan Matlab*. Yogyakarta: Andi.
- Saidah, D. A., Santoso, R., & Widiari, T. (2022). Pengelompokan Provinsi di Indonesia Berdasarkan Indikator Kesehatan Lingkungan Menggunakan Metode Partitioning Around Medoids dengan Validasi Indeks Internal. *Jurnal Gaussian*, 11(2), 302–312.
- Salsabila, S. A., Widiari, T., & Sudarno, S. (2022). Metode K-Harmonic Means Clustering Dengan Validasi Silhouette Coefficient (Studi Kasus : Empat Faktor Utama Penyebab Stunting 34 Provinsi di Indonesia Tahun 2018). *Jurnal Gaussian*, 11(1), 11–20.
- Sofia, A. D. (2023). Pengelompokan Kabupaten/Kota berdasarkan Indikator Indeks Pembangunan Manusia 2022 Menggunakan K-Harmonic Means Clustering. *Jurnal Riset Statistika*, 3(2), 163–172.
- Tan, P. N., Steinbach, M., & Kumar, V. (2006). *Introduction to Data Mining*. Boston: Pearson Education.
- Widiari, I. M. (2011). Studi Komparasi Metode Klasterisasi Data K-Means dan K-Harmonic Means. *Jurnal Ilmu Komputer*, 4(1), 30–34.
- Yunistya, D. I., Goejantoro, R., & Amijaya, F. D. T. (2022). Penerapan Metode K-Harmonic Means Dalam Pengelompokan Kabupaten/Kota (Studi Kasus: Kemiskinan di Pulau Kalimantan Tahun 2020). *Jurnal Matematika, Statistika Dan Komputasi*, 19(1), 51–64.
- Zaman, M. K., & Muhamadiah. (2021). *Kesehatan Lingkungan Prespektif Kesehatan Masyarakat*. Pekanbaru: CV. Global Aksara Pers.
- Zhang, B., Hsu, M., & Dayal, U. (1999). K-Harmonic Means - A Data Clustering Algorithm. *Hewlett-Packard Labs Technical Report HPL-1999-124*.