

BAB III

ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

3.1 ANALISIS SISTEM

Indonesia termasuk dalam salah satu wilayah dengan aktivitas seismik yang tinggi di dunia di karenakan letaknya di zona tumbukan antara beberapa lempeng utama di bumi (Harijoko et al., 2024). Gempa bumi yang terjadi di Indonesia dipicu oleh pergerakan lempeng tektonik yang menyebabkan pelepasan energi dalam bentuk getaran di permukaan bumi yang mengakibatkan dampak signifikan terhadap keselamatan masyarakat, kerusakan infrastruktur, dan kerugian ekonomi (Madusila et al., 2021). Salah satu upaya mitigasi gempa bumi yakni dengan menganalisis data kejadian gempa bumi dengan mengelompokkan daerah rawan berdasarkan karakteristik seismiknya. Dengan demikian, wilayah-wilayah berpotensi risiko dapat diidentifikasi, sehingga hasil ini dapat dijadikan dasar untuk perencanaan mitigasi yang lebih efektif dan tepat sasaran.

Kejadian gempa bumi yang tidak menentu menyebabkan variasi dalam hal magnitudo, kedalaman, dan lokasi gempa. Hal ini membuat data yang tercatat menjadi acak dengan berbagai tingkat kekuatan yang tidak konsisten. Sehingga analisis pengelompokan wilayah gempa berdasarkan karakteristiknya menjadi lebih kompleks, dengan menganalisis lebih lanjut dari penelitian sebelumnya yang menggunakan metode konvensional ditemukan kelemahan karena sifatnya yang kaku (Reviantika et al., 2020). sehingga kurang cocok untuk mengolah data gempa bumi yang ambigu. Oleh karena itu, dibutuhkan metode yang lebih fleksibel untuk menangani data gempa bumi. Salah satu pendekatan yang dipilih yaitu dengan menggunakan metode *fuzzy C-Means* dengan pertimbangan kelebihan dan kekurangannya di tunjukkan tabel 3.1:

Tabel 3. 1 Kelebihan dan kekurangan metode konvensional dengan *Fuzzy C-Means*

Aspek	Metode Konvensional	Fuzzy C-Means
Kelebihan	Sederhana dan mudah diimplementasikan.	Fleksibel dalam mengatasi data ambigu.

	Dapat memberikan hasil yang jelas dan langsung.	Dapat menangkap pola kompleks dalam data.
	Cocok untuk dataset yang terstruktur dan jelas.	Memberikan informasi tentang tingkat keanggotaan data dalam setiap cluster.
	Terkadang lebih cepat dalam perhitungan.	Dapat digunakan untuk mengidentifikasi outlier.
Kekurangan	Kaku dan tidak adaptif terhadap data yang ambigu.	Lebih kompleks dalam implementasi dan pemahaman.
	Mungkin tidak menangkap pola tersembunyi dalam data yang tidak terstruktur.	Memerlukan pemilihan parameter yang tepat (seperti jumlah cluster).
	Rentan terhadap outlier, yang dapat mempengaruhi hasil.	Memerlukan lebih banyak waktu untuk pengolahan dibandingkan metode konvensional.
	Tidak memberikan informasi tentang seberapa kuat data terikat pada setiap kelompok.	Sensitif terhadap nilai awal dalam proses clustering.

3.2 HASIL ANALISIS SISTEM

Sistem ini bertujuan untuk mengelompokkan data kejadian gempa bumi di Indonesia berdasarkan karakteristik gempa yang tercatat. Pengelompokan ini penting mengingat Indonesia merupakan salah satu negara dengan aktivitas seismik yang tinggi. Banyaknya data gempa bumi yang tersebar di berbagai wilayah Indonesia membuat proses analisis menjadi sulit tanpa adanya pengelompokan yang tepat. Data gempa bumi yang bersifat fleksibel dan ambigu, serta cenderung tidak menentu, seperti kekuatan gempa yang tidak menentu dan lokasi kejadian yang acak dalam wilayah geografis. Data yang tidak menentu ini menyebabkan pengelompokan data secara kaku menjadi kurang efektif, sehingga pengelompokan

data tersebut membutuhkan metode yang fleksibel agar dapat menyesuaikan dengan karakteristik data yang kompleks dan beragam.

Metode **Fuzzy C-Means** dipilih sebagai solusi untuk permasalahan ini karena memungkinkan setiap data gempa bumi memiliki derajat keanggotaan lebih dari satu *cluster* yang sesuai dengan sifat data yang tidak seragam dan memiliki ambiguitas (Siringoringo & Jamaludin, 2019). Setelah proses pengelompokan dengan **Fuzzy C-Means** dilakukan, hasil clustering akan dievaluasi menggunakan *Silhouette Coefficient* ini akan membantu menilai seberapa baik data gempa bumi ditempatkan dalam cluster yang sesuai, dengan mengukur kedekatan antar data dalam satu cluster dan jaraknya dari cluster lain (Rizuan et al., 2023). Evaluasi ini penting untuk memastikan bahwa pengelompokan yang dilakukan memberikan hasil yang bermakna dan sesuai dengan karakteristik data.

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari data catatan kejadian gempa pada laman resmi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dalam 3 tahun terakhir dari tahun 2021, 2022, 2023. Berikut representasi data gempa bumi tersebut di tunjukkan dalam table 3.2:

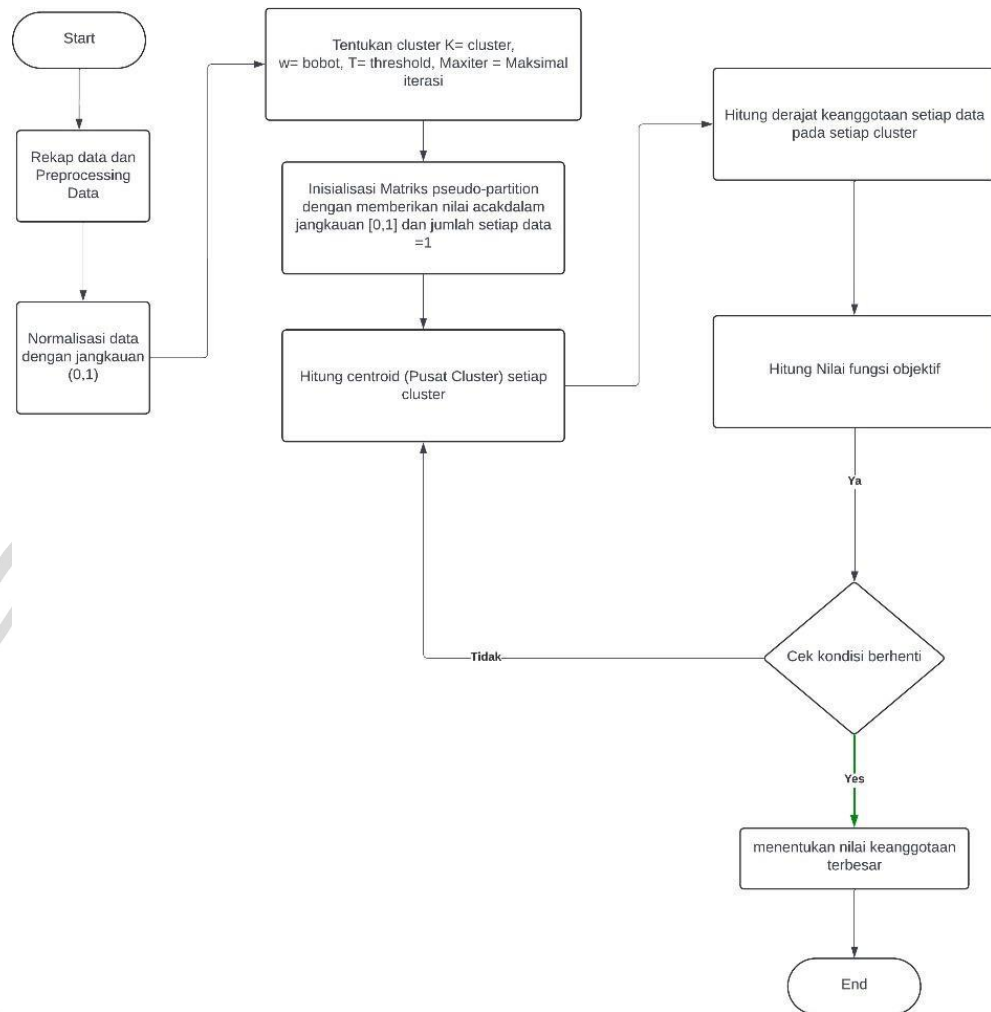
Tabel 3. 2 *Dataset Gempa Bumi di Indonesia*

No	Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude
1	1/1/2021	24:25.0	0.3	126.62	58	3.1
2	1/1/2021	35:22.2	-9.25	119.44	29	2.5
3	1/1/2021	32:18.0	2.25	127.29	38	3.8
4	1/1/2021	13:23.2	-7.58	128.67	197	4.2
5	1/1/2021	57:43.8	-8.9	119.04	69	2.8
6	1/1/2021	44:49.9	-9.78	120.66	16	3
7	1/1/2021	52:29.6	-2.76	130.52	10	3.3
8	1/1/2021	51:06.7	-9.69	119.83	50	2.9
9	1/1/2021	03:10.9	-9.14	119.06	53	3.3
10	1/1/2021	05:15.1	-0.22	124.45	10	4.7
11	1/1/2021	44:06.2	-3.1	131.81	30	3.6
12	1/1/2021	27:03.0	4.32	96.52	10	2.8
13	1/1/2021	25:07.8	-9.72	120.61	31	2.5
14	1/1/2021	21:15.9	-9.9	120.74	41	3
15	1/1/2021	33:53.8	-1.85	120.53	10	4
....	...	...	...	...	...	...
....	...	...	...	...	...	...

....	...	...	...	...	...	...
30601	12/31/2023	12:17:55	-7.21	129.71559	146.1	4.54
30602	12/31/2023	11:42:13	1.99	122.01523	10	3.14
30603	12/31/2023	11:19:04	-9.3	118.47413	80.2	2.52
30604	12/31/2023	10:19:14	3.95	128.14975	10	4.72
30605	12/31/2023	9:46:14	2.12	121.96176	10	3.74
30606	12/31/2023	5:43:37	-6.74	106.5961	10	2.99
30607	12/31/2023	3:52:21	-8.61	116.57639	13.5	2.79
30608	12/31/2023	1:58:34	-2.64	139.62299	19.2	3.39
30609	12/31/2023	1:43:57	-3.26	128.03104	57.1	2.93
30610	12/31/2023	0:39:05	-3.18	128.3784	7	2.6
30611	12/31/2023	0:26:48	-5.88	128.19762	364.5	3.89
30612	12/31/2023	0:23:44	-2.62	139.64566	20.5	3.84
30613	12/31/2023	0:15:51	-6.73	106.55798	10	2.38
30614	12/31/2023	0:12:36	-6.73	106.60106	10	2.82
30615	12/31/2023	22:52:33	-2.5	141.38303	10	4.27

Dari hasil analisis sistem tersebut, proses dilanjutkan dengan perancangan sistem clustering data gempa bumi. Perancangan sistem ini dituangkan dalam bentuk *flowchart*, diagram konteks, diagram berjenjang, dan data *flow diagram*.

3.2.1 Flowchart Sistem Menggunakan Metode Fuzzy C-Means



Gambar 3.1 Flowchart Sistem menggunakan Fuzzy C-Means

Pada gambar 3.1 digambarkan alur dari algoritma *Fuzzy C-Means clustering* :

1. Masukkan data rekap dari data Gempa Bumi Di Indonesia, lakukan preprocessing berupa seleksi data yang tidak digunakan.
2. Lakukan normalisasi data dengan jangkauan [0,1].

Hasil normalisasi bisa di lihat pada tabel 3.3 dengan rumus perhitungan

$$x_{norm} = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

3. Tentukan cluster yang di inginkan (K), bobot (w), *threshold*(T), dan maksimal iterasi.
4. Inisialisasi matriks *pseudo-partition* dengan memberikan nilai sembarang dengan jangkauan [0,1] dan untuk jumlah nilai setiap data(baris)=1.

5. Hitung centroid (pusat *cluster*) dari setiap *cluster*.
6. Hitung nilai derajat keanggotaan setiap data pada setiap *cluster*.
7. Hitung nilai fungsi objektif.
8. Mengecek kondisi berhenti.
9. Jika kondisi berhenti telah tercapai, tentukan nilai derajat keanggotaan terbesar untuk menentukan *cluster* mana yang di ikuti oleh data.

3.3 REPRESENTASI MODEL

Representasi model bertujuan untuk menunjukkan bagaimana metode *clustering Fuzzy C-Means* diterapkan pada data gempa bumi di Indonesia. Model ini menggunakan 20 data uji sebagai sampel, dengan menggunakan *data latitude*, *longitude*, *depth*, dan *magnitude* sebagai variabel untuk menggambarkan *clustering* data. Berikut sampel data uji gempa bumi di Indonesia ditunjukkan tabel 3.3:

Tabel 3. 3 Sampel Data Uji Gempa Bumi Di Indonesia

No	Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude
1	1/1/2021	24:25.0	0.3	126.62	58	3.1
2	1/1/2021	35:22.2	-9.25	119.44	29	2.5
3	1/1/2021	32:18.0	2.25	127.29	38	3.8
4	1/1/2021	13:23.2	-7.58	128.67	197	4.2
5	1/1/2021	57:43.8	-8.9	119.04	69	2.8
6	1/1/2021	44:49.9	-9.78	120.66	16	3
7	1/1/2021	52:29.6	-2.76	130.52	10	3.3
8	1/1/2021	51:06.7	-9.69	119.83	50	2.9
9	1/1/2021	03:10.9	-9.14	119.06	53	3.3
10	1/1/2021	05:15.1	-0.22	124.45	10	4.7
11	1/1/2021	44:06.2	-3.1	131.81	30	3.6
12	1/1/2021	27:03.0	4.32	96.52	10	2.8
13	1/1/2021	25:07.8	-9.72	120.61	31	2.5
14	1/1/2021	21:15.9	-9.9	120.74	41	3
15	1/1/2021	33:53.8	-1.85	120.53	10	4
16	1/1/2021	33:29.7	-9.01	118.49	67	4.3
17	1/1/2021	22:54.9	-8.21	117.81	19	3.5
18	1/2/2021	18:20.8	-3.82	133.74	10	4.1
19	1/2/2021	48:49.5	0.21	121.01	19	2.9
20	1/2/2021	16:28.7	-8.79	124.3	69	3

Dari data tersebut diproses sebagai berikut :

Diketahui dari data tersebut:

Latitude: Min = -9,9, Max = 4,32

Longitude: Min = 96.52, Max = 133.74

Depth: Min = 10, Max = 197

Magnitude: Min = 2.5, Max = 4.7

Berikut perhitungan manual normalisasi sampel data:

$$m = \frac{4.32 - (-9.9)}{0.3 - (-9.9)} = \frac{0.3 + 9.9}{4.32 + 9.9} = \frac{10.2}{14.22} \approx 0.7175$$

$$= \frac{133.74 - 96.52}{126.62 - 96.52} = \frac{126.62 - 96.52}{37.22} = \frac{30.1}{37.22} \approx 0.8088$$

$$= \frac{58 - 10}{197 - 10} = \frac{48}{187} \approx 0.2567$$

$$= \frac{3.1 - 2.5}{4.7 - 2.5} = \frac{3.1 - 2.5}{2.2} = \frac{0.6}{2.2} \approx 0.2727$$

Dari perhitungan normalisasi tersebut bisa di tunjukkan pada tabel 3.4 berikut:

Tabel 3. 4 Hasil Normalisasi Data Sampel

No	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude
1	0.7175	0.8088	0.257	0.2727
2	0.0457	0.6155	0.102	0
3	0.8491	0.8262	0.151	0.5909
4	0.163	0.8587	1	0.7727
5	0.0704	0.6092	0.314	0.1364
6	0.0087	0.6388	0.032	0.2273
7	0.5	0.6833	0	0.3636
8	0.0152	0.6278	0.214	0.0455
9	0.0522	0.6097	0.229	0.3636
10	0.671	0.7557	0	1
11	0.483	0.9461	0.107	0.5
12	1	0	0	0.1364
13	0.0163	0.6374	0.112	0

14	0	0.6407	0.166	0.2273
15	0.5406	0.6354	0	0.6818
16	0.0618	0.5911	0.306	0.8182
17	0.1132	0.5735	0.048	0.4545



18	0.4223	1	0	0.7273
19	0.7145	0.6577	0.048	0.1818
20	0.0737	0.7435	0.314	0.2273

- Tentukan *cluster* yang di inginkan (K), bobot (w), *threshold*(T), dan maksimal iterasi.

Pada penentuan *cluster* di lakukan uji coba 2 sampai 9 banyaknya *cluster* dan dipilih dari *cluster* terbaik , bobot(w) = 2, *threshold*(T) = 0,1, dan maksimal iterasi = 100.

- Inisialisasi matriks *pseudo-partition* dengan memberikan nilai sembarang dengan jangkauan [0,1] dan untuk jumlah nilai setiap data(baris)=1.

Pada tahap ini merupakan penentuan keanggotaan baru dengan memberikan nilai sembarang. Berikut tabel hasil inisialisasi matriks *pseudo-partition* dengan banyaknya 2 *cluster* ditunjukkan pada tabel 3.5:

Jumlah: $0,6 + 0,4 = 1$

Cluster 1: $\frac{0,6}{1} = 0,6$

Cluster 2: $\frac{0,4}{1} = 0,4$

Tabel 3. 5 Hasil Inisialisasi Matriks *Pseudo-Partition*

<i>Cluster 1</i>	<i>Cluster 2</i>
0.6	0.4
0.7	0.3
0.8	0.2
0.5	0.5
0.4	0.6
0.7	0.3
0.3	0.7
0.6	0.4
0.5	0.5
0.8	0.2
0.4	0.6
0.3	0.7
0.6	0.4
0.7	0.3

0.5	0.5
0.4	0.6
0.8	0.2
0.6	0.4
0.7	0.3
0.5	0.5

- Hitung *centroid* (pusat *cluster*) dari setiap *cluster*.

Setelah didapatkan data normalisasi, kemudian masuk ke tahap perhitungan nilai *centroid* awal dengan persamaan rumus :

$$\mu_{j1} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} \cdot \mu_{j1})}{\sum_{i=1}^n (\mu_{j1})}$$

Cluster 1 :

1. *Latitude*

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{20} (\mu_{i1}^2 \cdot x_{i1}) &= \\ &= 0.3^2 \cdot 0.7175 + 0.1^2 \cdot 0.3846 + 0.4^2 \cdot 0.6368 + \dots + 0.2^2 \cdot 0.3416 \\ &= 0.064575 + 0.003846 + 0.1023488 + \dots + 0.013664 \\ &= 3.0638 \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^n (\mu_{i1}) = 0.6^2 + 0.3^2 + 0.5^2 + \dots + 0.4^2 = 4.45$$

Centroid latitude cluster 1:

$$\mu_{11} = \frac{3.0638}{4.45} = 0.6881$$

2. *Longitude*

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{20} (\mu_{i1}^2 \cdot x_{i2}) &= \\ &= 0.6^2 \cdot 0.8088 + 0.3^2 \cdot 0.6167 + 0.5^2 \cdot 0.8330 + \dots + 0.4^2 \cdot 0.9232 \\ &= 0.2930 + 0.0555 + 0.3475 + \dots + 0.1700 \\ &= 4.0862 \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^n (\mu_{i1})^2 = 0.6^2 + 0.3^2 + 0.5^2 + \dots + 0.4^2 = 4.45$$

Centroid latitude cluster 1:



$$\frac{4.0862}{4.45} = 0.9189$$

3. Depth

20

$$\sum_{i=1}^n (\mu_i^2 \cdot \text{Depth}_i) =$$

$$= 0.6^2 \cdot 0.2567 + 0.3^2 \cdot 0.1021 + 0.5^2 \cdot 0.1503 + \dots + 0.4^2 \cdot 0.3209$$

$$= 0.0936 + 0.0092 + 0.0376 + \dots + 0.0410$$

$$= 0.9228$$

$$\sum_{i=1}^n (\mu_i^2) = 0.6^2 + 0.3^2 + 0.5^2 + \dots + 0.4^2 = 4.45$$

Centroid depth cluster 1:

$$\frac{0.9228}{4.45} = 0.2074$$

4. Magnitude

20

$$\sum_{i=1}^n (\mu_i^2 \cdot \text{Magnitude}_i) =$$

$$= 0.62 \cdot 0.2727 + 0.32 \cdot 0.0 + 0.52 \cdot 0.5909 + \dots + 0.42 \cdot 0.1364$$

$$= 0.0982 + 0.0 + 0.1477 + \dots + 0.0223$$

$$= 1.4647$$

Centroid Magnitude cluster 1:

$$\frac{1.4647}{4.45} = 0.3292$$

Berikut hasil *centroid* keseluruhan di tunjukkan tabel 3.6:

Tabel 3. 6 Centroid awal

Cluster	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude
1	0.6881	0.9189	0.2074	0.3292
2	0.6682	0.8373	0.2107	0.2727

- Hitung nilai derajat keanggotaan setiap data pada setiap *cluster*.

Menghitung nilai derajat keanggotaan setiap data pada setiap *cluster* dapat dilakukan dengan cara menghitung jarak *Euclidean* terlebih dahulu. Berikut perhitungannya:



$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

Untuk data pertama (Latitude: 0.7175, Longitude: 0.8088, Depth: 0.2567, Mag: 0.2727) :

a) Jarak ke *cluster* 1:

$$D_{1,1} = \sqrt{(0.7175 - 0.6881)^2 + (0.8088 - 0.9189)^2 + (0.2567 - 0.2074)^2 + (0.2727 - 0.3292)^2}$$

$$D_{1,1} = \sqrt{(0.0294)^2 + (-0.1101)^2 + (0.0493)^2 + (-0.0565)^2}$$

$$D_{1,1} = \sqrt{0.0009 + 0.0121 + 0.0024 + 0.0032} = \sqrt{0.0186} = 0.1364$$

b) Jarak ke *cluster* 2:

$$D_{1,2} = \sqrt{(0.7175 - 0.6682)^2 + (0.8088 - 0.8373)^2 + (0.2567 - 0.2107)^2 + (0.2727 - 0.2727)^2}$$

$$D_{1,2} = \sqrt{(0.0493)^2 + (-0.0285)^2 + (0.0460)^2 + (0)^2}$$

$$D_{1,2} = \sqrt{0.0024 + 0.0008 + 0.0021} = \sqrt{0.0053} = 0.0728$$

Berikut tabel hasil jarak *Euclidean* data ditunjukkan pada tabel 3.7:

Tabel 3. 7 Hasil Perhitungan Jarak *Euclidean*

D_{ij}	D_{ij}
0.1364	0.0728
0.5126	0.4548
0.1651	0.1645
0.8862	0.8987
0.7681	0.7167
0.7245	0.6827
0.1879	0.2398

0.6894	0.6406
0.689	0.6341
0.1086	0.0482
0.3392	0.2984
1.0268	0.984
0.6753	0.6354
0.7303	0.6867
0.1537	0.1529
0.3668	0.3094
0.1822	0.1302
0.5324	0.5032
0.203	0.1534
0.7078	0.6718

Kemudian bisa di hitung derajat keanggotaannya dengan persamaan:

$$\mu_{ij} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{1}{2-1}}}$$

Berikut perhitungannya:

a. Derajat keanggotaan ke *cluster1*

$$\mu_{1,1} = \frac{1}{\left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{1}{2-1}} + \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{1}{2-1}}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{0.1364}{0.0728} \right)} = \frac{1}{1 + 3.5102} = \frac{1}{4.5102} = 0.2216$$

b. Derajat keanggotaan ke *cluster2*

$$\mu_{1,2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{1}{2-1}} + \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{1}{2-1}}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{0.0728}{0.1364} \right)} = \frac{1}{1 + 0.2846} = \frac{1}{1.2846} = 0.7784$$

Berikut tabel hasil perhitungan derajat keanggotaan secara keseluruhan ditunjukkan pada tabel 3.8:

Tabel 3. 8 Hasil Perhitungan derajat keanggotaan

$\mu_{1,1}$	$\mu_{1,2}$
-------------	-------------

0.2216	0.7784
0.2998	0.7002



0.3883	0.6117
0.25	0.75
0.4471	0.5529
0.2945	0.7055
0.3307	0.6693
0.3452	0.6548
0.2801	0.7199
0.2244	0.7756
0.2998	0.7002
0.2575	0.7425
0.2998	0.7002
0.2998	0.7002
0.3118	0.6882
0.3431	0.6569
0.3503	0.6497
0.3204	0.6796
0.3503	0.6497
0.3503	0.6497

- Hitung nilai fungsi objektif.

Setelah itu di lakukan perhitungan nilai fungsi objektifnya dengan persamaan berikut:

$$P_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m ([\sum_{i=1}^n (\mu_{ij} - \mu_{ij}^2)] (\mu_{ij}^2))$$

Dari persamaan tersebut di lakukan terlebih dahulu perhitungan fungsi objektif satu persatu data:

$$P_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\mu_{ij}^2)$$

Perhitungan fungsi objektif data pertama:

$$P_{1,1} = \mu_{1,1}^2 \cdot (\mu_{1,1}) = (0.2216)^2 \cdot (0.1364)^2$$

$$P_{1,1} = 0.0491 \cdot 0.0186 = 0.00091$$

$$P_{1,2} = \mu_{1,2}^2 \cdot (\mu_{1,2}) = (0.7784)^2 \cdot (0.0728)^2$$

$$\diamond_{1,2} = 0.6059 \cdot 0.0053 = 0.00321$$

Berikut tabel 3.9 merupakan hasil perhitungan fungsi objektif:

Tabel 3. 9 Hasil Perhitungan Fungsi Objekktif



J_k	J_k	J_{total}
0.00091	0.00321	0.00412
0.02359	0.1014	0.125
0.01034	0.09799	0.10833
0.0491	0.5061	0.5552
0.1315	0.2835	0.415
0.1226	0.3388	0.4614
0.0206	0.2552	0.2758
0.0823	0.273	0.3553
0.0529	0.291	0.3439
0.00059	0.00138	0.00197
0.0306	0.0623	0.0929
0.068	0.6783	0.7463
0.0407	0.2847	0.3254
0.0487	0.3306	0.3793
0.0236	0.0648	0.0884
0.044	0.2315	0.2755
0.0251	0.0868	0.1119
0.0457	0.1892	0.2349
0.0285	0.0977	0.1262
0.0618	0.2847	0.3465

Setelah mengumpulkan semua nilai J_k dari setiap data, kita dapat menjumlahkan untuk mendapatkan nilai total fungsi objektif:

$$J_{total} = \sum_{k=1}^{20} J_k$$

$$J_{total} = 0.00412 + 0.1250 + 0.10833 + 0.5552 + 0.4150 + 0.4614$$

$$+ 0.2758 + 0.3553 + 0.3439 + 0.00197 + 0.0929$$

$$+ 0.7463 + 0.3254 + 0.3793 + 0.0884 + 0.2755$$

$$+ 0.1119 + 0.2349 + 0.1262 + 0.3465$$

$$J_{total} = 5.37734$$

- Mengecek kondisi berhenti.

Apabila nilai perubahan fungsi objektif telah mencapai nilai ambang batas atau jumlah iterasi, maka iterasi di hentikan. Iterasi akan Kembali di lakukan apabila kondisi berhenti belum tercapai.

Berikut tabel 3.10 hasil perhitungan fungsi objektif untuk pengecekan kondisi berhenti:

Tabel 3. 10 Hasil perhitungan fungsi objektif

$ P_1 - P_0 $	5.37	0.000	5.37
$ P_2 - P_1 $	4.60	5.37	-0.77
$ P_3 - P_2 $	4.75	4.60	0.14
$ P_4 - P_3 $	4.75	4.75	0.00

- Jika kondisi berhenti telah tercapai, tentukan nilai derajat keanggotaan terbesar untuk menentukan *cluster* mana yang di ikuti oleh data.

Hasil keanggotaan *Cluster* dari data sample dapat di tunjukkan pada tabel 3.11:

Tabel 3. 11 Hasil Keanggotaan *Cluster*

<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Depth</i>	<i>Magnitude</i>			<i>Cluster</i>
0.72	0.81	0.26	0.27	0.27	0.73	2
0.38	0.62	0.10	0.00	0.28	0.72	1
0.64	0.83	0.15	0.59	0.34	0.66	2
0.50	1.00	1.00	1.00	0.27	0.73	1
0.20	0.56	0.31	0.14	0.42	0.58	1
0.00	0.67	0.01	0.23	0.32	0.68	1
0.59	0.93	0.00	0.32	0.36	0.64	2
0.03	0.59	0.25	0.18	0.39	0.61	1
0.11	0.54	0.27	0.32	0.31	0.69	1
0.70	0.81	0.00	1.00	0.29	0.71	2
0.49	0.86	0.13	0.55	0.33	0.67	2
1.00	0.00	0.00	0.09	0.30	0.70	2
0.04	0.68	0.04	0.00	0.32	0.68	1
0.00	0.69	0.06	0.23	0.31	0.69	1
0.58	0.67	0.00	0.77	0.34	0.66	2
0.45	0.42	0.32	0.86	0.38	0.62	1
0.71	0.36	0.10	0.41	0.37	0.63	1
0.40	0.89	0.00	0.73	0.35	0.65	2
0.70	0.47	0.10	0.14	0.37	0.63	2
0.20	0.70	0.31	0.14	0.38	0.62	1

Pada iterasi terakhir, Hasil ini menunjukkan bahwa dua keanggotaan cluster dapat di kelompokkan dengan karakteristik gempa yang berbeda, untuk titik lokasi terjadinya gempa dapat ditunjukkan dengan data latitude dan longitudenya. Sedangkan untuk pusat data atau *centroid* dapat di tunjukkan pada tabel 3.12:

Tabel 3.12 Data Yang Terletak Pada Centroid Cluster

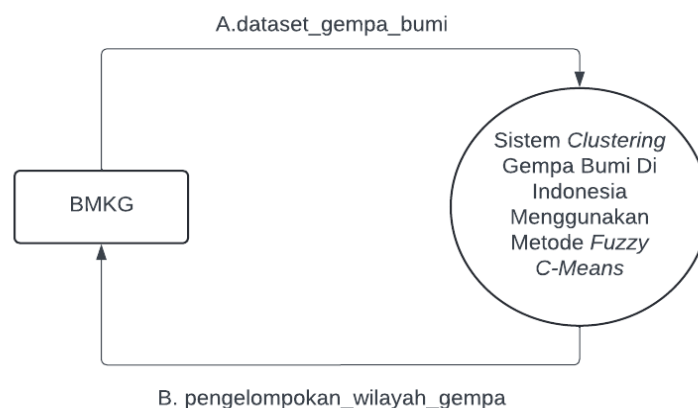
<i>Centroid</i>	No	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude
<i>Cluster 1</i>	14	-9.90	120.74	41	3.0
<i>Cluster 2</i>	15	-1.85	120.53	10	4.0

Pada Tabel 3.12 ditunjukkan wilayah-wilayah yang terletak pada centroid berdasarkan data sampel gempa yang diuji, yang dapat diidentifikasi melalui atribut latitude dan longitude. Dari kolom latitude dan longitude tersebut, dapat diketahui lokasi terjadinya gempa.

3.4 PERANCANGAN SISTEM

3.4.1 Diagram Konteks Sistem

Diagram konteks ini akan terlihat kesatuan luar atau *entity* yang terlibat dalam sistem yang meliputi aktivitas dari data yang menghubungkan antara *entity* sistem. Berikut diagram konteks sistem ditunjukkan pada gambar 3.2:



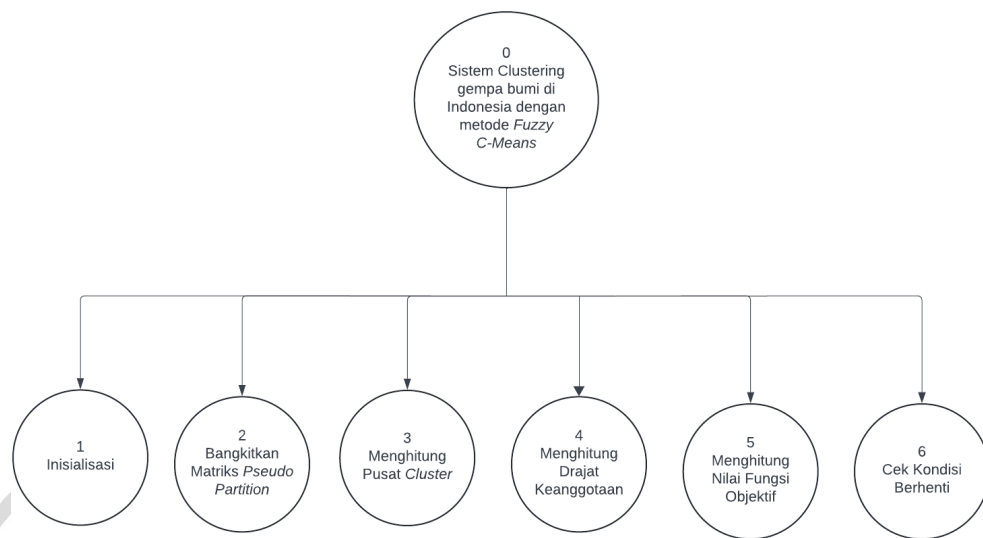
Gambar 3.2 Diagram Konteks Sistem *Clustering* Gempa Bumi

Gambar 3.2 merupakan alur sistem untuk melakukan *clustering* atau pengelompokan wilayah gempa bumi di Indonesia menggunakan metode *Fuzzy C-Means*. Berikut adalah penjelasan dari diagram konteks sistem:

1. BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika): ini adalah sumber data utama yang menyediakan informasi mengenai gempa bumi yang terjadi di Indonesia.
2. A. dataset_gempa_bumi: Data gempa bumi yang dikumpulkan dari BMKG, seperti lokasi, magnitudo, kedalaman, dan waktu gempa, akan digunakan sebagai input dalam sistem *clustering* ini.
3. Sistem Clustering Gempa Bumi di Indonesia Menggunakan Metode Fuzzy C-Means: Sistem ini menerima data gempa dari BMKG dan menggunakan metode *Fuzzy C-Means* untuk mengelompokkan wilayah di Indonesia berdasarkan data gempa. Metode *Fuzzy C-Means* memungkinkan setiap wilayah untuk menjadi anggota lebih dari satu kelompok dengan derajat keanggotaan tertentu, yang berguna untuk data yang tidak jelas atau memiliki tumpang tindih dalam pola gempa.
4. B. pengelompokan_wilayah_gempa: Setelah proses *clustering* dilakukan, hasil pengelompokan wilayah gempa bumi akan dikembalikan ke BMKG. Hasil ini bisa digunakan oleh BMKG untuk memahami pola gempa di wilayah-wilayah tertentu dan membantu dalam perencanaan mitigasi bencana.

3.4.2 Diagram Jenjang Sistem

Diagram jenjang diperlukan untuk menjelaskan proses yang ada pada sistem, berikut gambar diagram jenjang dari sistem ini :



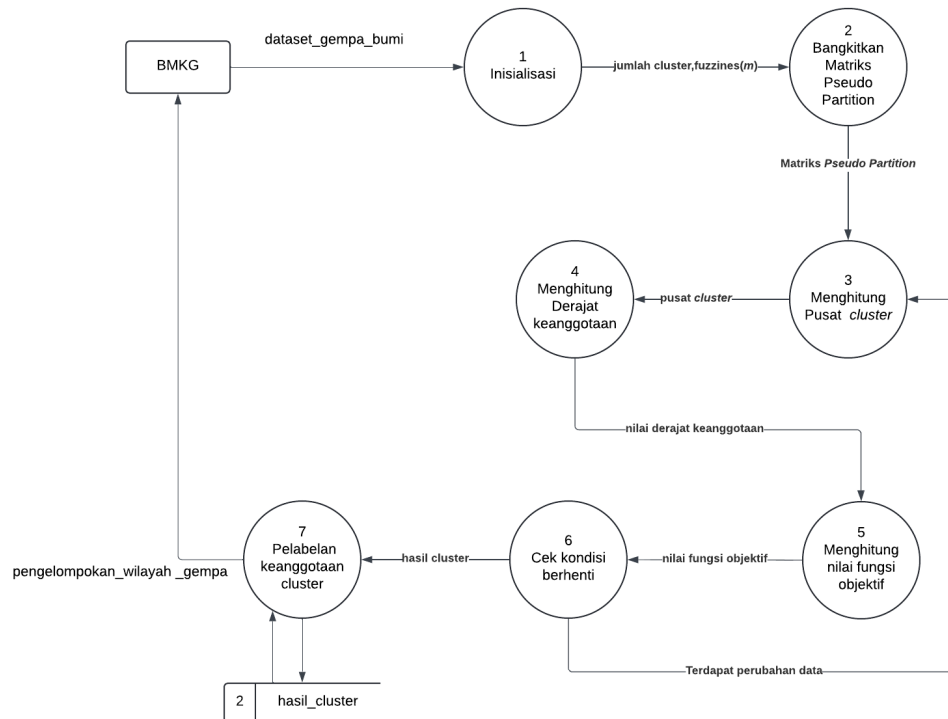
Gambar 3.3 Diagram jenjang Sistem Clustering Data Gempa Bumi Di Indonesia

Dapat dilihat dari gambar 3.3 yang merupakan diagram jenjang sistem *clustering* atau pengelompokan data gempa bumi Di Indonesia menggunakan *Fuzzy C-Means* (FCM). Berikut penjelasannya:

1. Top level 0: Sistem ini menerapkan konsep Data Mining untuk melakukan pengelompokan data gempa bumi di Indonesia. Pengelompokan dilakukan dengan menggunakan algoritma *Fuzzy C-Means* (FCM)
2. Level 1: Merupakan tahap proses pengelompokan dengan menggunakan algoritma *Fuzzy C-Means* (FCM), yang terdiri dari serangkaian perhitungan untuk membagi data ke dalam beberapa *cluster*. Proses ini melibatkan langkah-langkah seperti inisialisasi parameter awal, pembentukan matriks keanggotaan, perhitungan pusat *cluster*, dan penyesuaian derajat keanggotaan secara iteratif. Setiap tahap bertujuan untuk meminimalkan nilai fungsi objektif, yang mencerminkan jarak antara data dengan pusat *cluster*. Proses ini berlanjut sampai kondisi berhenti terpenuhi, memastikan bahwa hasil *clustering* telah mencapai stabilitas atau batas iterasi tertentu.

3.4.3 Data Flow Diagram (DFD) Sistem

3.4.3.1 DFD Level 1



Gambar 3.4 DFD level 1 Sistem Clustering Data Gempa Bumi Di Indonesia

Pada Gambar 3.5 DFD (Data Flow Diagram) Level 1 terdapat beberapa proses yaitu :

1. Data gempa bumi yang bersumber dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang berformat excel (.csv) diinputkan kedalam database data_gempa yang kemudian akan dilakukan normalisasi data.
2. Proses 1 inisialisasi: merupakan proses Tahap ini dimulai dengan menentukan parameter awal, jumlah cluster (❖) dan parameter fuzziness (❖).
3. Proses 2 membangkitkan nilai acak matriks *pseudo partition* : Matriks ini digunakan untuk merepresentasikan derajat keanggotaan setiap data terhadap masing-masing *cluster*.

4. Proses 3 Menghitung pusat *cluster*: Pusat *cluster* diperbarui dengan menghitung rata-rata berbobot dari data, dimana bobotnya ditentukan berdasarkan derajat keanggotaan data terhadap masing-masing *cluster*, namun untuk perhitungan awal yang digunakan adalah matriks *pseudo partition* dan juga data matriks gempa yang sudah dinormalisasi.
5. Proses 4 Menghitung derajat keanggotaan: Derajat keanggotaan ini diperoleh dengan menghitung jarak antara data dengan pusat cluster. Semakin dekat jarak data dengan pusat cluster, maka derajat keanggotaan data terhadap cluster tersebut akan semakin besar.
6. Proses 5 Menghitung nilai fungsi objektif: Fungsi objektif dalam algoritma *Fuzzy C-Means* mengukur seberapa baik pengelompokan dilakukan. Pada setiap iterasi, nilai fungsi objektif dihitung untuk memantau konvergensi.
7. Proses 6 Mengecek kondisi berhenti: Algoritma akan memeriksa apakah perubahan nilai fungsi objektif antara dua iterasi berturut-turut berada di bawah ambang batas tertentu atau jumlah iterasi maksimum telah tercapai ataupun salah satu kondisi terpenuhi, proses dihentikan.
8. Proses 7 Pelabelan keanggotaan *cluster*: Setelah algoritma *Fuzzy C-Means* mencapai konvergensi, data diberi label berdasarkan cluster yang memiliki derajat keanggotaan tertinggi. Hasil pengelompokan ini disimpan dalam tabel hasil_cluster.

3.5 PERANCANGAN BASIS DATA

ERD dapat dilihat sebagai penyimpanan data pada sistem *clustering* gempa bumi menggunakan metode *Fuzzy C-Means*, dibutuhkan adanya sebuah database yang terdiri dari tabel data gempa , dan hasil pengelompokkan.

3.5.1 Tabel Data Gempa

Tabel data gempa dengan penamaan tabel data_gempa berisi tentang data gempa bumi di Indonesia.

Tabel 3. 11 Tabel Data Gempa

#	Name	Type	Length	Key
1	id	Integer	50	PK
2	tanggal	Date		
3	waktu	Time		
4	latitude	Float		
5	longitude	Float		
6	magnitude	Float		
7	depth	Float		

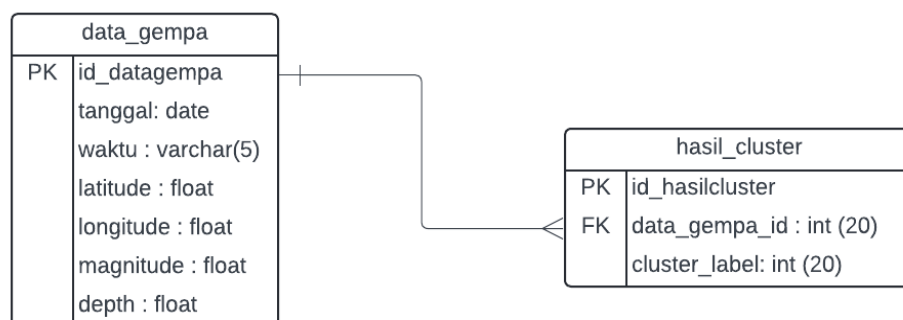
3.5.2 Tabel Hasil *Cluster*

Tabel hasil *cluster* adalah tabel yang berisi data hasil pelabelan keanggotaan *cluster*.

Tabel 3. 12 Tabel hasil *cluster*

#	Name	Type	Length	Key
1	id	Integer	50	Primary Key
2	earthquake_id	Integer	20	Foreign Key
3	cluster_label	Integer	20	

Berikut adalah *Entity Relationship Diagram* (ERD) yang menggambarkan struktur dan relasi antar tabel dalam *database*.

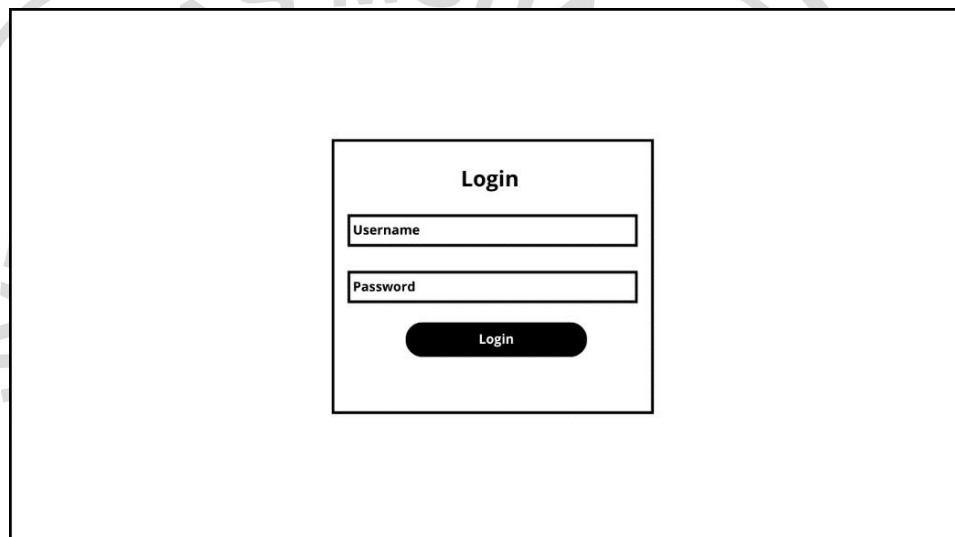


Gambar 3.5 ERD Sistem *Clustering* Data Gempa Bumi Di Indonesia

Gambar 3.6 menggambarkan struktur basis data yang terdiri dari dua tabel utama, yaitu *data_gempa* dan *hasil_cluster*. Setiap baris di tabel *hasil_cluster* terhubung dengan data gempa yang telah diklasterisasi melalui kolom *data_gempa_id* dan menyimpan label *cluster* yang dihasilkan dalam kolom *cluster_label*. Relasi antara kedua tabel ini memanfaatkan kolom *latitude* dan *longitude* untuk menunjukkan lokasi wilayah keanggotaan *cluster* berdasarkan hasil klasterisasi yang terdapat pada tabel *hasil_cluster*.

3.6 PERANCANGAN ANTARMUKA

3.6.1 Halaman Login



Gambar 3.6 Halaman *Login* Admin

Halaman *Login* berfungsi sebagai autentikasi keamanan sistem dan merupakan tampilan awal dalam sistem *clustering* gempa bumi di Indonesia. Akses untuk mengubah data gempa bumi dan mengakses hasil *clustering* hanya diberikan kepada pengelola. Untuk masuk ke dalam sistem *clustering* data gempa bumi beserta fitur lainnya, pengelola diwajibkan memasukkan *username* dan *password* yang valid.

3.6.2 Halaman Input Data

Menu Admin

- Input Data**
- Proses Data
- Proses Data Lanjut
- Hasil Clustering
- Visualisasi Data
- LOGOUT

Halaman Input Data

Tambah Data Manual Tambah Data csv

Data Gempa Bumi

No	Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude	Aksi

Next : 1,2,3...>

Gambar 3.7 Halaman Input Data

Halaman input data gempa pada gambar 3.7 merupakan tampilan yang berfungsi mengolah data gempa pada sistem ini. Pengelola dapat menambahkan data dari file berformat csv dan dapat menambahkan data manual. Pada halaman ini ada tabel yang menampilkan field dari data yang telah dimasukkan dan akan diproses nantinya ke sistem pengelompokan data gempa tersebut dan juga dihalaman ini bisa untuk menghapus data karna kesalahan penginputan atau mengubah data gempa tersebut berdasarkan dengan data yang tercatat dilaman resmi Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika(BMKG).

3.6.3 Halaman Proses Data

Menu Admin

Input Data

Proses Data

Proses Data Lanjut

Hasil Clustering

Visualisasi Data

LOGOUT

Halaman Proses Data

Hasil Normalisasi Data

No	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude

Next : 1,2,3...>>

Gambar 3.8 Halaman Proses Data

Halaman proses data pada gambar 3.8 adalah halaman hasil dari data yang sudah dilakukan proses normalisasi perhitungan *min max scaller* yang nantinya akan di gunakan untuk pemrosesan di perhitungan algoritma *Fuzzy C-Means*. Data yang akan diproses terdiri dari *Latitude*, *Longitude*, *Depth*, *Magnitude*.

3.6.4 Halaman Proses Data Lanjut

Menu Admin

Input Data

Proses Data

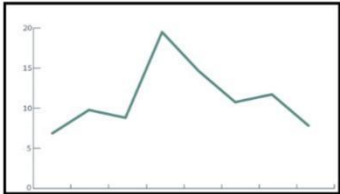
Proses Data Lanjut

Hasil Clustering

Visualisasi Data

LOGOUT

Halaman Proses Data Lanjut



Skor Silhouette untuk setiap cluster

cluster terbaik = 3

Hasil Centroid

Cluster	Latitude	Longitude	Magnitude	Depth
cluster 1				
cluster 2				
cluster ...				

Gambar 3.9 Halaman Proses Data Lanjut

Halaman proses data lanjut pada gambar 3.9 menampilkan proses perhitungan algoritma *Fuzzy C-Means* dan pencarian cluster terbaik dengan metode *silhouette*. Pada tampilan halaman proses data lanjut terdapat grafik pola skor *silhouette*. Disamping grafik juga ada nilai skor tiap-tiap *cluster* yang sudah di uji coba memakai algoritma *Fuzzy C-Means* yang menuliskan skor hasil terbaik. Terdapat tabel hasil *centroid* yang menunjukkan titik tengah data atau *centroid* pada cluster yang terbaik tersebut.

3.6.5 Halaman Hasil Clustering

Menu Admin

- Input Data
- Proses Data
- Proses Data Lanjut
- Hasil Clustering**
- Visualisasi Data
- LOGOUT

Hasil Clustering

cluster terbaik = 3 Hapus Semua Data

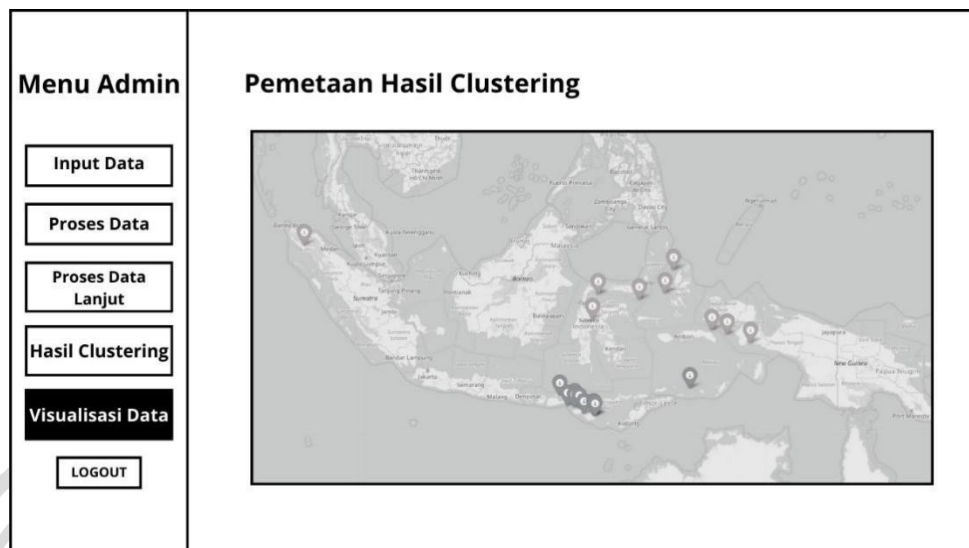
No	tanggal	waktu	latitude	Longitude	Magnitude	Depth	Cluster

Next : 1,2,3...>>

Gambar 3.10 Halaman Hasil *Clustering*

Halaman Hasil *Clustering* pada gambar 3.10 merupakan tampilan hasil dari sistem clustering data gempa bumi dengan menampilkan nilai keanggotaan *cluster* di tiap-tiap data gempa bumi yang telah di inputkan. Terdapat tombol hapus semua data berfungsi untuk mengosongkan data hasil bila memungkinkan proses ulang atau pembaruan data yang baru lagi.

3.6.6 Halaman Visualisasi Data



Gambar 3.11 Halaman Visualisasi Data

Halaman visualisasi data pada gambar 3.11 menampilkan pemetaan data hasil *clustering*. Pada tampilan peta menandai lokasi dari kejadian gempa sesuai dengan keanggotaan *cluster* yang akan diberi tanda penunjuk lokasi dengan warna yang berbeda tiap *cluster*, misal warna hijau *cluster1*, warna kuning *cluster2*, begitupun seterusnya sesuai banyaknya jumlah *cluster* pada perhitungan sistem.

3.7 PERANCANGAN PENGUJIAN

Pada tahap ini terdapat dua proses pengujian untuk mendapatkan hasil *clustering* data gempa bumi. Pengujian yang pertama menggunakan skenario pengujian *Blackbox Testing* pada sistem yang berjalan. Kemudian, skenario uji validitas menggunakan *Silhouette Coefficient*. Berikut pengujian yang akan dilakukan:

3.7.1 Skenario Uji Validitas Dengan *Silhouette Coefficient*

Langkah-langkah untuk menghitung *Silhouette Coefficient* adalah sebagai berikut:

1. Menghitung Rata-rata Jarak dalam *cluster*, Hitung rata-rata jarak antara objek *iii* dan semua objek lain dalam *cluster* yang sama menggunakan persamaan 2.12.

2. Menghitung Rata-rata Jarak dengan *cluster* Lain, Hitung rata-rata jarak antara objek *iii* dan semua objek dalam kluster lain menggunakan persamaan 2.13.
3. Memilih Jarak Minimum, Pilih jarak rata-rata terkecil antara objek *iii* dan kluster lain menggunakan persamaan 2.14.
4. Menghitung *Silhouette Coefficient*, Hitung nilai *Silhouette Coefficient* menggunakan persamaan 2.1

3.7.2 Skenario Pengujian *Black Box Testing*

Berikut tabel Skenario pengujian *Black Box Testing* pada sistem ini ditunjukkan pada table 3.16:

Tabel 3. 13 Skenario Pengujian *Black Box*

Test Case	Input	Expected Output	Status
Halaman Login	Verifikasi Username dan Password	Apabila admin memasukkan username dan pasword salah maka sistem akan memberi peringatan salah.	
		Apabila admin memasukkan username dan password dengan benar maka akan masuk ke dalam sistem	
Halaman Input data	Tombol Tambah Data Manual	Sistem akan menampilkan form modal yang berisi Date, Time,Longitude dan latitude untuk di isikan ke sistem secara manual	

	Tombol Tambah Data CSV	Sistem akan membuka folder di perangkat untuk memasukkan data berupa file csv	
	Tombol Hapus Semua Data	Sistem akan menghapus semua data yang ada	
	Tombol Ubah Data	Sistem akan menampilkan form modal yang berisi data yang akan diubah kemudian mengubah data tersebut	
	Tombol Hapus Data	Sistem akan menghapus data tiap data gempa bumi tersebut.	
Halaman Proses Data		Sistem berhasil menampilkan hasil dari proses normalisasi data gempa bumi.	
Halaman Proses Lanjut		Sistem berhasil menampilkan hasil dari proses pencarian <i>cluster</i> terbaik data gempa bumi dengan menggunakan metode <i>Silhouette Coefficient</i> .	

Halaman Hasil <i>Clustering</i>		Sistem berhasil menampilkan hasil dari pengelompokan data gempa bumi dengan pelabelan keanggotaan tiap data.	
		Sistem berhasil menampilkan <i>Centroid</i> data	
		Sistem berhasil menampilkan Statistik tiap <i>cluster</i>	
	Tombol Export ke Exce	Sistem mampu mengekspor file berupa excel dari data hasil tiap keanggotaan <i>cluster</i>	
Halaman Visualisasi Data		Sistem mampu menampilkan visualisasi data berupa peta yang menunjukkan lokasi kejadian gempa bumi di titik <i>centroid</i> .	

3.8 SPESIFIKASI PEMBUATAN SISTEM

Kebutuhan perangkat lunak dan perangkat keras dalam implementasi *fuzzy c-means* untuk clustering data gempa bumi di Indonesia sebagai berikut:

3.8.1 Perangkat Keras

Perangkat keras (*Hardware*) adalah komponen fisik dalam sistem komputer yang berfungsi untuk mendukung proses pengolahan data dan menjalankan berbagai aplikasi serta perangkat lunak.. Dalam hal ini, spesifikasi perangkat keras yang digunakan adalah :

1. Prosesor: Intel Core i3-1005G1
2. OS: Windows 11 Pro 64-bit

3. Memory: 8192 MB RAM
4. GPU: NVIDIA GeForce MX 330

3.8.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak (*Software*) adalah sekumpulan program, data, dan instruksi yang digunakan untuk menjalankan, mengatur, dan mengontrol fungsi-fungsi dalam sistem komputer. Dalam hal ini, perangkat lunak yang digunakan adalah :

1. Framework Flask Python
2. XAMPP Control Panel
3. Visual Studio Code
4. Goggle Chrome

