

APLIKASI FUZZY *c*-MEANS CLUSTERING UNTUK MENGELOMPOKKAN DATA GEMPABUMI DI PROVINSI BENGKULU

Nur Afandi, Baki Swita dan Siska Yosmar

Prodi Matematika, Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Bengkulu, Indonesia
af.fan@yahoo.com, b.swita@yahoo.com, siskayosmar@unib.ac.id

ABSTRACT

This study aims to cluster earthquake events in Bengkulu Province and describe the characteristics of each group based on clustering results. The method used is Fuzzy *c*-Means Clustering. The clustering results show that although clustering is formed based on the location of latitude, longitude, and depth, the data is only clumped by depth. Based on the XB index and the Silhouette index the three best clustering sequences are clustering using 2 clusters, 5 clusters, 8 clusters.

Keywords: Fuzzy *c*-Means Clustering, Earthquake

PENDAHULUAN

Analisis klaster digunakan untuk membagi sekelompok objek menjadi beberapa kelas atau grup berdasarkan kesamaan karakteristik di antara objek-objek tersebut. Pengklasteran yang baik memiliki sifat homogen dalam grup; artinya objek dalam masing-masing grup memiliki variasi yang sangat kecil, dan bersifat heterogen antar grup; artinya objek yang berada di dalam grup yang berbeda akan memiliki sifat yang berbeda.

Pada analisis klaster diperlukan beberapa asumsi, seperti normalitas, kelinearan, dan homoskedastisitas. Namun, untuk beberapa kasus asumsi umum tersebut sulit untuk dipenuhi. Oleh karena itu dibutuhkan teknik pengklasteran lain untuk mengatasi permasalahan yang terjadi dalam analisis klaster klasik. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah *Fuzzy c-Means Clustering* yang pertama

kali diperkenalkan oleh Jim Bezdek pada tahun 1981.

Fuzzy c-Means Clustering merupakan suatu teknik pengklasteran dengan keberadaan setiap objek dalam suatu grup ditentukan berdasarkan derajat keanggotaan. Oleh karena itu suatu objek dimungkinkan untuk masuk ke lebih dari satu grup. Jadi teknik pengklasteran yang berbasis pada logika fuzzy ini lebih fleksibel dibandingkan dengan teknik klasik.

Fuzzy c-Means Clustering dapat diaplikasikan pada kejadian gempabumi. Gempabumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Karena gempabumi terjadi secara tiba-tiba, maka sering kali terjadinya gempabumi mengakibatkan kerusakan-kerusakan atau bahkan menelan korban jiwa yang tidak sedikit jumlahnya. Hal-hal demikianlah yang

membuat peneliti tertarik untuk mempelajari gempabumi, agar dampak buruk yang ditimbulkannya dapat diminimalkan.

Provinsi Bengkulu merupakan daerah yang berada dekat dengan daerah pertemuan dua lempeng tektonik dunia yaitu lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Hal ini menyebabkan gempabumi sering terjadi di Provinsi Bengkulu. Di provinsi Bengkulu telah terjadi gempabumi yang berkekuatan besar setidaknya dua kali dalam waktu singkat yaitu tahun 2000 dan tahun 2007. Gempa yang terjadi di Bengkulu pada 4 Juni 2000 dengan kekuatan 7,3 Skala Richter (SR) dan 12 September 2007 dengan kekuatan 7,9 SR menimbulkan korban jiwa 100 orang lebih. Kerusakan terparah berturut-turut ada di pulau Enggano, Pasar Ngalam,

METODE PENELITIAN

Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah data gempabumi di provinsi Bengkulu dari 1971 sampai dengan April 2017. Variabel penelitian yang digunakan adalah posisi latitude,

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Kejadian Gempabumi

Objek dalam penelitian ini adalah kejadian gempabumi yang diamati berdasarkan lokasi dan kekuatannya. Data kejadian gempabumi diperoleh dari laman <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>. Pengamatan terhadap lokasi gempabumi meliputi koordinat, yaitu bujur (*longitude*) dan lintang (*latitude*), dan kedalaman (*depth*).

Secara administratif, lokasi yang diamati dalam penelitian ini tidak sepenuhnya berada di Provinsi Bengkulu. Berdasarkan data yang diperoleh, koordinat kejadian

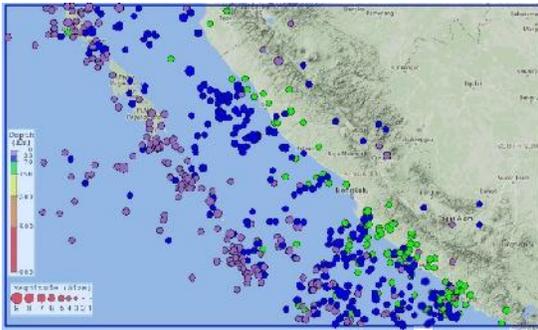
Suharaja, Bengkulu Selatan dan di Kota Bengkulu. Laporan team survey dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) menggambarkan tingkat kerusakan dengan memakai skala *Modified Mercally Intensity* (MMI) bahwa tingkat kerusakan terparah terjadi di Pulau Enggano.

Novianti, dkk (2016), telah mengklasifikasikan kejadian gempabumi di provinsi Bengkulu. Metode pengklasteran yang digunakan adalah *K-rata* dengan jumlah klaster optimum yang diperoleh berdasarkan indeks KL adalah 7. Penelitian ini membahas pengklasteran kejadian gempabumi di Provinsi Bengkulu menggunakan *Fuzzy c-Means Clustering* sehingga diperoleh informasi tambahan mengenai kejadian gempabumi.

longitude, kedalaman dan kekuatan (magnitudo) gempabumi. Selanjutnya data dikelompokkan menggunakan *Fuzzy c-Means Clustering*.

gempabumi berada diantara 99 BT hingga 104 BT dan -5 LS hingga -2 LS.

Sebanyak 604 kejadian gempabumi dengan magnitudo lebih besar sama dengan 5 dan kedalaman hingga 100km diamati dalam periode 1971 hingga April 2017. Penyebaran kejadian gempabumi tersebut dapat dilihat melalui gambar berikut:



Gambar 1. Peta Penyebaran Gempabumi dengan magnitudo ≥ 5 Periode 1971 hingga April 2017

Berdasarkan kedalamannya, pengamatan dilakukan pada kejadian gempabumi dengan kedalaman 0 km

a. Pengelompokan Data Gempa Menggunakan Fuzzy *c*-means Clustering

Pengelompokan data gempa bumi menggunakan *c*-means Fuzzy Clustering, dilakukan berdasarkan posisi pusat gempa bumi, yaitu letak lintang (*latitude*), bujur (*longitude*), dan kedalaman (*depth*). Untuk memperoleh pengklasteran fuzzy, terdapat beberapa hal yang harus ditetapkan terlebih dahulu. Diantaranya adalah banyaknya kluster *c* dan masing-masing sentroidnya, parameter fuzzy *m*, dan juga nilai toleransi.

Pada penelitian ini digunakan beberapa nilai *c*, yaitu 2, 5, 8, dan 9. Sementara itu parameter fuzzy yang digunakan adalah $m = 1,5$. Untuk sentroid dan matrik partisi awal akan ditentukan secara otomatis oleh program R. Selanjutnya penentuan kluster akan dilakukan secara iteratif dengan menggunakan nilai toleransi sebesar 10^{-9} .

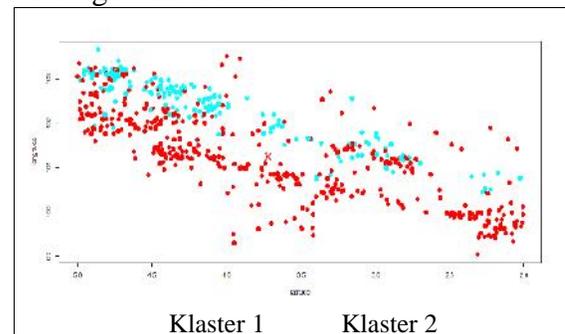
Setelah kluster dengan masing-masing sentroidnya diperoleh, selanjutnya menentukan anggota setiap kluster. Ciri khas dari pengklasteran fuzzy adalah setiap data merupakan anggota dari masing-masing kluster yang terbentuk. Besarnya kedekatan setiap data terhadap

hingga 100 km. Sebanyak 274 gempabumi terjadi pada kedalaman 0 km hingga 33, sebanyak 248 gempabumi terjadi pada kedalaman 33km hingga 70 km, dan 82 kejadian gempa bumi terjadi pada kedalaman 70km hingga 100km. Menariknya sebanyak 188 kali gempa dengan kedalaman tepat 33 km terjadi. Berdasarkan data yang diperoleh kedalaman minimum yang didapatkan adalah 4,9 km, gempa ini terjadi pada tanggal 26 Oktober 2010 di selatan Sumatra.

masing-masing kluster ditentukan dengan derajat keanggotaan, yang nilainya berada pada rentang 0 hingga 1. Suatu elemen dikatakan anggota dari kluster ke-*i* jika derajat keanggotaan elemen tersebut terhadap kluster ke-*i* lebih besar dari derajat keanggotaan elemen tersebut terhadap kluster lainnya. Dengan kata lain, derajat keanggotaannya merupakan nilai maksimum.

a) Pengelompokan dengan 2 Klaser

Dengan menggunakan parameter fuzzy $m = 1,5$, setelah iterasi ke 34 diperoleh pengklasteran seperti yang ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 2. Pengklasteran Data Gempabumi dengan 2 Klaser

Klaster 1 terdiri dari 421 anggota dengan sentroid berada pada 3,72009 LS

101,2526 BT dengan kedalaman 31,15997 km. Sedangkan Klaster 2 terdiri dari 183 anggota dengan sentroid berada pada 4,09116 LS 102,3657 BT dengan kedalaman 70.0503 km. Jika diperhatikan dari sentroidnya, klaster 1 memuat gempa-gempa dangkal sedangkan klaster 2 memuat gempa dangkal dan menengah. Berdasarkan hasil pengklasteran, kedalaman maksimum gempabumi di klaster satu adalah 50,5 km, sedangkan kedalaman minimum gempabumi di klaster 2 adalah 50,9 km.

Tabel 1. Penyebaran Kejadian Gempabumi dengan 2 Klaster

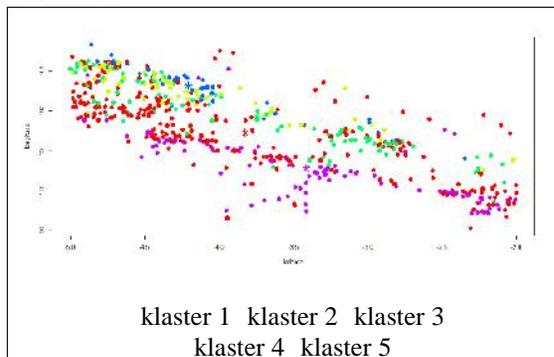
	1	2
≥ 7	8	1
6-7	38	3
5-6	375	179

Berdasarkan tabel di atas, klaster 1 memuat a) 88,89% gempabumi dengan kekuatan lebih dari sama dengan 7, b) 92,68% gempabumi dengan magnitudo 6 hingga 7, dan c) 67,69% gempabumi dengan magnitudo 5 hingga 6. Pada Klaster 2, persentase gempabumi dengan magnitudo lebih besar dari 6 hanya 8%, sisanya terkumpul dalam klaster 1.

Magnitudo Banyaknya Klaster

b) Pengelompokan dengan 5 Klaser

Penggunaan parameter fuzzy $m = 1,5$, untuk memperoleh pengelompokan, algoritma perlu diulang hingga 89 kali. Gambar berikut menunjukkan hasil pengklasteran dengan menggunakan lima klaster.



Gambar 3. Pengklasteran Data Gempabumi dengan 5 Klaster

Klaster 1 terdiri dari 282 anggota dengan sentroid berada pada 3,82672 LS dan 101,4433 BT dengan kedalaman 33,38902 km. Klaster 2 terdiri dari 75 anggota dengan sentroid berada pada 4,21682 LS 102,4819 BT dengan kedalaman 69,16996 km. Klaster 3 terdiri dari 101 anggota dengan sentroid berada pada 3,74407 LS 101,8315 BT dengan

kedalaman 52,08608 km. Klaster 4 terdiri dari 48 anggota dengan sentroid berada pada 4,20699 LS 102,6405 BT dengan kedalaman 87,43126 km. Klaster 5 terdiri dari 98 anggota dengan sentroid berada pada 3,41382 LS 100,5632 BT dengan kedalaman 18,69288 km.

Berdasarkan hasil pengklasteran, sentriod klaster 2 dan 4 berada pada kedalaman lebih dari 60 km. Gempa yang terkelompok dalam klaster tersebut semuanya merupakan gempa dalam. Sementara itu gempa-gempa dangkal tersebar masing-masing ke dalam klaster 5, 1, dan 3.

Tabel 2. Penyebaran Kejadian Gempabumidengan 5 Klaster

Magnitudo	Klaster				
	1	2	3	4	5
≥ 7	5	1	0	0	3
6-7	21	0	3	2	15
5-6	256	74	98	46	80

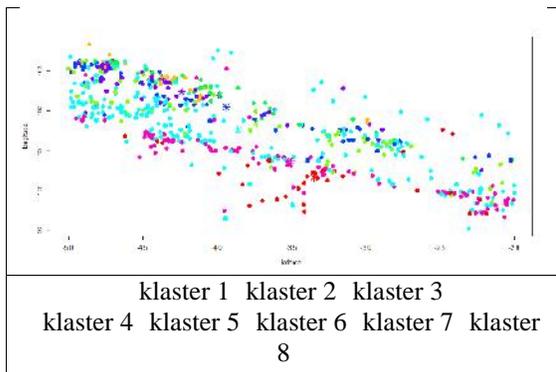
Gempabumi dengan magnitudo lebih besar sama dengan 7 sebanyak 55,56% terjadi pada klaster 1, yang merupakan kejadian terbanyak jika dibandingkan dengan klaster lainnya. Gempabumi

dengan kekuatan ini tidak pernah terjadi pada klaster 3 dan 4. Gempabumi dengan magnitudo 6 hingga 7 hampir tersebar ke semua klaster kecuali pada klaster 2. Sebaran terbanyak terjadi pada klaster 1 yaitu sebesar 51,22%. Gempabumi dengan magnitudo yang lebih kecil dari 6 tersebar ke semua klaster. Kejadian gempabumi terbanyak terjadi pada klaster 1 dengan presentase 46,21%.

Jika diperhatikan lebih dalam klaster 1 adalah klaster dengan kejadian gempabumi terbanyak. Klaster ini juga memiliki kejadian gempabumi terbesar untuk semua kelompok magnitudo.

c) Pengelompokan dengan 8 Klaster

Untuk mencapai konvergensi diperlukan iterasi hingga iterasi ke 206. Setelah iterasi tersebut diperoleh jarak dua matrik partisi terakhir lebih kecil dari kriteria konvergensi sebesar 10^{-9} . Berikut ini adalah hasil pengklasteran yang diperoleh yang disajikan dalam bentuk gambar.



Berdasarkan hal tersebut berikut penyebaran kejadian gempabumi pada setiap klaster yang dilihat berdasarkan jenis magnitudo gempabumi.

Tabel 4. Penyebaran Kejadian Gempabumi dengan 8 Klaster

Interval Magnitudo	Klaster							
	1	2	3	4	5	6	7	8

Gambar 4. Pengklasteran Data Gempabumi dengan 8 Klaster

Setiap klaster yang terbentuk memiliki sentriod.

Tabel 3. Sentroid Kejadian Gempabumi dengan 2 Klaster

Klaster	latitude	longitudo	Depth
1	-3,34825	100,3349	11,55649
2	-4,36561	102,8289	92,83815
3	-3,73889	101,6849	46,52659
4	-3,98222	102,4011	80,95828
5	-3,85901	101,5193	33,79487
6	-3,93770	102,0909	57,37577
7	-4,23633	102,4830	69,29999
8	-3,50543	100,7412	24,52559

Hasil pengklasteran menunjukkan bahwa klaster 1, 8, 5, dan 3 memuat gempa-gempa dangkal dan klaster 7, 4, dan 2 memuat gempa-gempa yang terjadi pada kedalaman lebih dari 60 km. Sementara itu klaster 6 memuat gempa yang terjadi pada kedalaman 51,9 km hingga 63 km.

Ciri khas dari pengklasteran fuzzy adalah setiap data merupakan anggota dari masing-masing klaster yang terbentuk. Besarnya kedekatan setiap data terhadap masing-masing klaster ditentukan dengan derajat keanggotaan, yang nilainya berada pada rentang 0 hingga 1. Pada penelitian ini suatu elemen dikatakan anggota dari klaster ke-*i* jika derajat keanggotaan elemen tersebut terhadap klaster ke-*i* merupakan nilai maksimum.

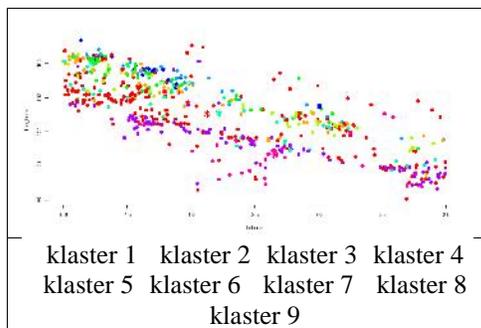
>=7	0	0	0	0	5	0	1	3
6-7	1	2	2	0	17	1	0	1
5-6	3	2	6	3	21	5	5	7
	2	1	1	5	3	8	5	9

Gempabumi dengan magnitudo lebih besar sama dengan 7 sering terjadi pada klaster 5, dengan presentase 55,56%, menyusul pada klaster 8 sebesar 33,33%. Sisanya terjadi pada klaster 7 dengan

presentase 11,11%. Sementara itu gempa dengan kekuatan ini tidak pernah terjadi pada klaster 1, 2,3, 4, dan 6. Gempabumi dengan magnitudo 6 hingga 7 hampir tersebar ke semua klaster, dengan presentase tertinggi terjadi pada klaster 8 yaitu sebesar 43,90%. Sementara itu pada klaster 4 dan 6 tidak terjadi gempabumi dengan magnitudo tersebut. Gempabumi dengan magnitudo yang lebih kecil dari 6 tersebar ke semua klaster. Kejadian gempabumi terbanyak

d) Pengelompokan dengan 9 Klaster

Pengelompokan diperoleh setelah iterasi ke 95. Pada iterasi ini tercapai konvergensi. Berikut ini adalah hasil pengklasteran yang diperoleh



Gambar 5. Pengklasteran Data Gempabumi dengan 9 Klaster
Sentroid setiap klaster diperlihatkan dalam tabel berikut:

Tabel 5. Sentroid Kejadian Gempabumi Menggunakan 2 Klaster

Klaster	latitude	longitude	Depth
1	-3,87259	101,5249	33,59492
2	-4,09936	102,2338	59,08494
3	-3,58474	101,7482	50,63960
4	-4,22323	102,4714	70,00411
5	-3,78079	101,5587	42,34070
6	-3,99448	102,4125	81,38797
7	-4,36436	102,8275	92,99512
8	-3,50493	100,7395	24,45963
9	-3,34783	100,3331	11,52072

terjadi pada klaster 5 dengan presentase 38,45%.

Jika diperhatikan lebih dalam klaster 5 dan 4 memiliki kekhususan. Klaster 5 adalah klaster dengan kejadian gempa bumi terbanyak. Bahkan untuk magnitudo 5 hingga 6 dan lebih besar sama dengan 7 klaster 5 memiliki kejadian paling banyak. Sementara itu gempabumi yang terkelompok pada klaster 4 hanyalah gempabumi dengan magnitudo yang lebih kecil dari 6.

Berdasarkan hasil pengklasteran, klaster 9, 8, 1, 5, dan 3 tersusun atas kejadian-kejadian gempabumi dangkal, sedangkan klaster 4, 6, dan 7 memuat kejadian gempabumi pada kedalaman menengah. Sementara itu pada klaster 6, gempabumi yang terklasifikasi adalah gempabumi yang terjadi pada kedalaman 54,8 km hingga 63,9 km.

Berikut ini adalah penyebaran kejadian gempabumi pada setiap klaster berdasarkan magnitudonya

Tabel 5.6. Penyebaran Kejadian Gempabumi Menggunakan 9 Klaster

Interval Magnitudo	Klaster								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
>=7	5	0	0	1	0	0	0	3	0
6-7	17	0	3	0	0	0	2	8	1
5-6	20	5	4	5	4	3	2	8	3
	3	1	3	4	0	2	0	0	1

Gempabumi dengan magnitudo lebih besar sama dengan 7 sebanyak 55,56% terjadi pada klaster 1, yang merupakan kejadian terbanyak jika dibandingkan dengan kejadian pada klaster lainnya. Gempabumi dengan kekuatan ini tidak pernah terjadi pada klaster 2, 3, 5, 6, 7 dan hanya terjadi satu kali pada klaster 4. Gempabumi dengan magnitudo 6 hingga 7 sebagian besar terkelompok pada klaster 1 dan 8 berturut-turut sebesar

41,46% dan 43,90%. Gempabumi ini hanya terjadi sebanyak 1, 2, dan 3 kali masing-masing pada klaster 9, 7 dan 3. Gempabumi dengan magnitudo yang lebih kecil dari 6 tersebar ke semua klaster.

Kejadian gempabumi terbanyak terjadi pada klaster 1 dengan presentase 37,25%. Gempabumi pada klaster ini merupakan kejadian yang cukup sering baik itu untuk magnitudo 5-6, magnitudo 6-7, dan magnitudo lebih besar sama dengan 7. Sementara itu pada klaster 2, 5, dan 6 hanya terjadi gempabumi dengan magnitudo 5-6.

Hasil pengklasteran menunjukkan bahwa meskipun pengklasteran dibentuk berdasarkan letak *latitude*, *longitude*, dan kedalaman, namun data hanya mengelompok berdasarkan kedalaman saja. Misalnya pada pengklasteran dengan menggunakan 5 klaster, data mengelompok pada masing-masing klaster dengan rincian, gempa yang terjadi dengan kedalaman 4,9 km hingga 26 mengelompok pada klaster 5, gempa yang terjadi dengan kedalaman 26 km hingga 42,72 mengelompok pada klaster 1, gempa yang terjadi dengan kedalaman 42,8 km hingga 60,2 mengelompok pada klaster 3, gempa yang terjadi dengan kedalaman 60,7 km hingga 78,3 mengelompok pada klaster 2, dan gempa yang terjadi dengan kedalaman 78,4 km hingga 100 mengelompok pada klaster 4.

b. Validitas Pengklasteran

Validitas pengklasteran diperlukan untuk mengukur ketepatan dan kecermatan pengklasteran. Banyaknya iterasi yang diperlukan dapat digunakan untuk keperluan tersebut. Berikut ini diberikan banyaknya iterasi yang diperlukan untuk mencapai konvergensi untuk beberapa nilai c dengan $\varepsilon = 10^{-9}$.

Tabel 7. Iterasi yang Diperlukan untuk Beberapa Klaster dengan $\varepsilon = 10^{-9}$

Banyaknya Klaster	Banyaknya Iterasi	Banyaknya Klaster	Banyaknya Iterasi
2	34	11	201
3	52	12	147
4	106	13	600
5	89	14	592
6	71	15	200
7	104	16	249
8	206	17	141
9	95	20	425
10	95	30	234

Selain menggunakan iterasi, nilai Indeks Silhouette Fuzzy dan Indeks XB juga dapat digunakan untuk mengukur validitas pengklasteran Fuzzy. Berikut ini adalah nilai Indeks Silhouette Fuzzy dan Indeks XB untuk beberapa klaster.

Tabel 8. Indeks Silhouette dan XB untuk beberapa Klaster

Jmlh Klaster	Indeks Silh. F	Indeks XB	Jmlh Klaster	Indeks Silh. F	Indeks XB
2	0,869	0,067	11	0,787	0,129
3	0,722	0,258	12	0,788	0,116
4	0,797	0,144	13	0,715	0,537
5	0,809	0,093	14	0,703	0,505
6	0,802	0,157	15	0,702	0,479
7	0,808	0,123	16	0,694	0,488
8	0,809	0,098	17	0,687	0,422
9	0,805	0,102	20	0,677	0,386
10	0,793	0,148	30	0,667	0,629

Menurut Xie and Beni (1991), klaster terbaik adalah klaster yang memiliki indeks XB paling kecil. Oleh karena itu berdasarkan Indeks XB, mengelompokkan data menjadi dua bagian adalah pengklasteran terbaik. Pengklasteran tersebut memiliki indeks XB sebesar 0,0667 yang nilainya paling

kecil. Lima pengklasteran terbaik berdasarkan indeks XB berturut-turut adalah pengklasteran dengan banyaknya klaster 2, 5, 8, 9, dan 12. Menurut Subbalakshmi (2015) jika suatu klaster memiliki Indeks Silhouette yang mendekati 1, maka klaster tersebut adalah klaster yang baik. Sementara itu jika suatu klaster memiliki Indeks Silhouette yang mendekati -1 maka klaster tersebut bukanlah klaster yang baik.

Berdasarkan hal tersebut, maka pengklasteran dengan membagi data menjadi dua kelompok adalah pengklasteran terbaik. Pengklasteran ini memiliki indeks Silhouette sebesar 0,869 paling mendekati 1. Lima pengklasteran terbaik berdasarkan indeks Silhouette berturut-turut adalah pengklasteran dengan banyaknya klaster 2,5,8,9, dan 12.

KESIMPULAN

1. Hasil pengklasteran menunjukkan bahwa meskipun pengklasteran dibentuk berdasarkan letak *latitude*, *longitude*, dan kedalaman, namun data hanya mengelompok berdasarkan kedalaman saja.
2. Berdasarkan indeks XB dan indeks Silhouette tiga urutan

pengklasteran terbaik berturut-turut adalah pengklasteran dengan menggunakan 2 klaster, 5 klaster, 8 klaster.

DAFTAR PUSTAKA

- Bezdek, J.C., R. Ehrlich, W. Full. The Fuzzy c-Means Clustering Algorithm. *Computers & Geosciences*. 1984. Vol.10 no 2-3
- BMG. *Database Gempa BMG Kepahiang*. BMG Kepahiang, Bengkulu. 2017
- Novianti, Pepi dkk. 2016. The Application of K-Means Cluster Analysis to Partitioning Earthquake in Bengkulu. Disajikan pada ICDS 2016, Yogyakarta.
- Ruspini, E. 1970. *Numerical Methods for Fuzzy Clustering*. Inform. Sci 2.
- Subbalakshmi, C., et al. A Method to Find Optimum Number of Clusters Based on Fuzzy Silhouette On Dynamic Data Set. *ScienceDirect*. 2015. Vol. 46.
- Xie, S.L., G. Beni. A Validity for Fuzzy Clustering. *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1991. Vol 13. No 8