

TEMPORAL SPATIAL PROPERTY PROFILING AND IDENTIFICATION OF EARTHQUAKE PRONE AREAS USING ST-DBSCAN AND K-MEANS CLUSTERING

Angga Radlisa Samsudin^{*1}, Dthomas Hatta Fudholi², Lizda Iswari³

^{1,2,3}Magister Informatics, University Islam Indonesia Yogyakarta, Indonesia
Email: ¹angga.radlisa@gmail.com, ²hatta.fudholi@uii.ac.id, ³lizda.iswari@uii.ac.id

(Article received: August 04, 2023; Revision: September 03, 2023; published: June 18, 2024)

Abstract

Indonesia is a country located at the confluence of three major tectonic plates, namely Indo-Australia, Eurasia, and the Pacific so that earthquakes often occur, one of which is in West Nusa Tenggara Province. One way to accelerate the disaster mitigation process is to analyze earthquake occurrence based on spatial temporal aspects. This study uses data from BMKG NTB Province during 2018 with a total of 3,699 earthquake events which are then analyzed using ST-DBSCAN and K-Means. ST-DBSCAN analysis was used to determine earthquake prone areas based on the date and location of the event, while k-means used the depth and magnitude of the earthquake. The results show that the distribution pattern of earthquakes in the NTB region has a stationary pattern and there are similar prone areas based on the location and time of occurrence as well as the strength and depth of the earthquake. The ST-DBSCAN method using latitude and longitude attributes produces one cluster that covers 96.33% of the total data. Meanwhile, K-Means using the depth and magnitude attributes produced four clusters. The four clusters were obtained from the cluster density using the silhouette score value between -1 and 1. The K-means analysis used a silhouette score result of 18.527 which was found in cluster 1. Earthquake prone areas in the distribution of earthquakes or types of earthquakes are located in Gangga and Bayan sub-districts of North Lombok and in Sambelia and Sembalun sub-districts of East Lombok. The sub-district with the most frequent earthquakes is Sambelia sub-district with 112 earthquakes. Then the strength of the largest earthquakes on average occurred in Gangga sub-district with magnitudes of 4 to 6.2 SR with shallow earthquake types. The prone area is located at the foot of the mountain and directly adjacent to the ocean. The prone area is at the foot of a mountain and directly adjacent to the ocean.

Keywords: Earthquake, K-Means, Prone area, Spasial Temporal, ST-DBSCAN.

PROFILING PROPERTI SPASIAL TEMPORAL DAN IDENTIFIKASI PRONE AREA GEMPA BUMI MENGGUNAKAN ST-DBSCAN DAN K-MEANS CLUSTERING

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang berada di pertemuan tiga lempeng tektonik besar, yaitu Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik sehingga sering terjadi gempa bumi, salah satunya di Provinsi Nusa Tenggara Barat. Salah satu cara untuk mempercepat proses mitigasi bencana yaitu menganalisis kejadian gempa bumi berdasarkan aspek *spasial temporal*. Penelitian ini menggunakan data dari BMKG Provinsi NTB selama tahun 2018 dengan total 3.699 kejadian gempa bumi yang kemudian dianalisis menggunakan ST-DBSCAN dan K-Means. Analisis ST-DBSCAN digunakan untuk mengetahui *prone area* gempa bumi berdasarkan tanggal dan lokasi kejadian, sedangkan k-means menggunakan kedalaman dan magnitudo gempa. Hasilnya menunjukkan bahwa pola persebaran gempa bumi di wilayah NTB memiliki pola *stationary* dan terdapat *prone area* yang sama berdasarkan lokasi dan waktu kejadian serta kekuatan dan kedalaman gempa. Metode ST-DBSCAN menggunakan atribut *latitude* dan *longitude* menghasilkan satu *cluster* yang mencakup 96,33% dari total data secara keseluruhan. Sedangkan pada K-Means menggunakan atribut kedalaman dan magnitudo menghasilkan empat *cluster*. Empat *cluster* didapatkan dari kerapatan cluster menggunakan nilai *silhouette score* antara -1 sampai 1. Analisis K-means menggunakan hasil *silhouette score* 18,527 yang terdapat pada cluster 1. *Prone area* gempa dalam persebaran gempa ataupun jenis gempa terletak di Kecamatan Gangga dan Bayan Lombok Utara serta di Kecamatan Sambelia dan Sembalun Lombok Timur. Kecamatan yang sering terjadi gempa bumi adalah Kecamatan Sambelia dengan 112 kejadian gempa. Kemudian kekuatan gempa bumi terbesar rata-rata terjadi di Kecamatan Gangga dengan magnitudo 4 sampai 6,2 SR dengan jenis gempa dangkal. *Prone area* tersebut berada pada kaki gunung serta berbatasan langsung dengan Samudera.

Kata kunci: *Gempa Bumi, K-Means, Prone area, Spasial Temporal, ST-DBSCAN.*

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan kekuatan perut bumi yang terjadi pada kulit bumi sehingga menyebabkan gerakan pada kulit bumi [1]. Selain itu, diartikan juga gempa bumi merupakan suatu peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Berdasarkan kedalamannya gempa bumi dibedakan menjadi gempa bumi dalam, menengah dan dangkal [2]. Sedangkan berdasarkan kekuatannya dibedakan menjadi *micro*, *minor*, sedang, kuat, dan *major* [3].

Indonesia merupakan salah satu negara yang sering terjadi gempa bumi dikarenakan berada dipertemuan tiga lempeng tektonik besar yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan lempeng Pasifik [4]. Salah satu daerah di Indonesia yang sering terjadi gempa bumi adalah Provinsi Nusa Tenggara Barat yang terletak diantara dua pembangkit gempa dari utara dan selatan. Bagian selatan terdapat zona lempeng Indo-Australia yang menunjat ke bawah Pulau Lombok, sedangkan dari utara terdapat struktur geologi Sesar Naik Flores (Flores Back Arc Thrusting) sehingga sering kali terjadi gempa bumi baik dalam skala kecil ataupun besar. Provinsi Nusa Tenggara Barat mempunyai 8 kabupaten, 2 kotamadya, 116 kecamatan, 142 kelurahan, dan 995 desa [5]. Pada tahun 2018, terjadi gempa bumi besar dengan magnitude 7 SR yang terjadi di Kabupaten Lombok Utara dan Lombok Timur yang mengakibatkan berbagai kerusakan baik secara materi ataupun psikis bagi masyarakat [6]. Penelitian ini mengambil studi kasus di Provinsi Nusa Tenggara Barat karena sesar naik yang terjadi pada gempa di NTB mempunyai tingkat asperity yang tinggi terjadi pada bidang segmen sesar naik Lombok Utara sehingga menghasilkan banyak gempa yang terus-menerus (foreshock, mainshock, dan aftershock) [7]. Selain itu, kondisi geografis Provinsi NTB yang memiliki 3 gunung berapi tertinggi serta di kelilingi lautan memiliki resiko memunculkan bencana bencana alam lainnya. Kontur tanah pada provinsi NTB memiliki kemiringan diatas 15% yang dikhawatirkan akan menimbulkan retakan atau longsor saat terjadi gempa terus menerus [8]. Dikarenakan peristiwa gempa bumi di lokasi mana dan waktu kejadiannya tidak dapat di prediksi sehingga peristiwa tersebut seringkali memberikan dampak kerusakan yang besar. Oleh sebab itu, diperlukan analisis terhadap data gempa bumi yang telah terjadi. Hasil analisis tersebut dapat digunakan untuk mitigasi bencana gempa bumi dengan cara mengelompokkan daerah yang merupakan daerah rawan gempa bumi.

Penelitian sebelumnya telah menggunakan algoritma clustering untuk menganalisis data *spasial*

temporal gempa bumi, namun hanya menggunakan satu algoritma clustering, yaitu DBSCAN, ST-DBSCAN atau K-Means, serta belum mempertimbangkan data lain seperti kedalaman dan *magnitude* yang dapat mempengaruhi persebaran area rawan kejadian gempa [9][10][11][12][13][14], salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh [9]. Penelitian tersebut sudah menganalisis data gempa bumi secara spasial temporal menggunakan algoritma ST-DBSCAN di wilayah NTB. Tetapi, analisis yang dilakukan hanya menggunakan *latitude*, *longitude*, dan waktu saja sehingga pola gempa bumi yang dihasilkan hanya berdasarkan lokasi titik gempa. Selain itu, analisis gempa yang dilakukan juga hanya sampai pada tingkat kabupaten dan kota sehingga kurang untuk menunjukkan daerah-daerah yang rawan terjadi gempa bumi. Dalam SIG, jenis data dibedakan menjadi dua yaitu data spasial dan data non spasial. Data spasial adalah data yang bergeoreferensi yang unsur datanya berupa titik, garis, luasan dan anotasi. Sedangkan data non spasial merupakan data yang menjelaskan karakteristik dari obyek geografis tersebut [15][16]. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan data kedalaman dan magnitude sebagai penjelasan mengenai karakteristik gempa yang terjadi, seperti yang dikemukakan [17][18] bahwa *magnitude* adalah data spasial yang berupa ukuran kekuatan gempa yang digunakan untuk kelengkapan data gempa dan berkaitan dengan frekuensi gempa.

Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis spasial temporal gempa bumi dengan melihat dari *latitude*, *longitude*, dan tanggal kejadian menggunakan ST-DBSCAN kemudian akan hasil analisis tersebut akan di analisis lanjut berdasarkan kedalaman dan magnitudo gempa menggunakan K-Means. ST-BSCAN digunakan untuk melihat kepadatan gempa bumi yang terjadi pada suatu wilayah berdasarkan lokasi dan waktu gempa. Sedangkan K-Means digunakan untuk mengenali wilayah rawan gempa bumi berdasarkan kemiripan kedalaman dan magnitude yang terjadi. Penggunaan dua metode tersebut karena ST-DBSCAN memiliki kelemahan dalam kecepatan memproses data[19], sedangkan data lanjutan yang akan dianalisis dengan magnitude dan kedalaman berjumlah banyak.

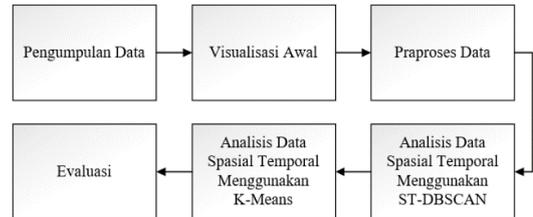
Berbeda dengan DBSCAN, ST-DBSCAN ini dapat mendeteksi kekurangan data menggunakan faktor kepadatan untuk menunjuk setiap cluster. Sedangkan untuk mengatasi perbedaan antara nilai dua batas objek diantara cluster, algoritma ini membandingkan nilai rata-rata cluster dengan nilai batas objek, *cluster* yang dihasilkan tersebut akan dilakukan pengukuran kualitas *cluster* dengan menggunakan *Silhouette Coefficient* [14][20]. Kemudian K-means merupakan salah satu metode

data *clustering non* hirarki yang berusaha mempartisi data yang ada ke dalam bentuk satu atau lebih *cluster* [21]. Analisis K-Means didasarkan pada penentuan titik awal kelompoknya. K-means akan memilih pola k sebagai titik awal *centroid* secara acak atau *random* [22].

Kedua metode tersebut digunakan karena ST-DBSCAN dapat melihat pola kejadian dalam waktu yang lama berdasarkan titik atau lokasinya sehingga pada penelitian ini data latitude, longitude dan tanggal akan dianalisis menggunakan ST-DBSCAN. Kemudian data magnitudo dan kedalaman akan dianalisis lanjut lagi menggunakan K-Means berdasarkan persamaan karakteristiknya. Algoritma K-means ini digunakan untuk menganalisis lanjut karena dapat mengelompokkan data dalam jumlah yang banyak secara cepat dengan melihat persamaan karakteristik. Selain itu, penggunaan kedua metode tersebut dapat diketahui pola kejadian berdasarkan titik lokasi kejadian serta kedalaman dan magnitudenya yang terjadi di setiap kecamatan dalam kabupaten atau kota. Dari hasil pengelompokkan tersebut didapatkan daerah mana saja yang merupakan *prone area* bencana gempa bumi. Hasil dari analisis tersebut diharapkan dapat membantu pemerintah setempat dalam melakukan mitigasi bencana gempa bumi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui enam tahapan. Tahapan penelitian dimulai dari pengumpulan data, visualisasi awal, pra proses data, analisis data spasial temporal menggunakan ST-DBSCAN, analisis data spasial temporal menggunakan K-means dan yang terakhir evaluasi. Gambar 1. menunjukkan alur penelitian dan akan dijelaskan pada subbab berikutnya.



Gambar 1. Alur penelitian

2.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) dalam kurun waktu satu tahun di tahun 2018. Tabel 1. menunjukkan data gempa bumi yang berhasil direkam dari tanggal 2 Januari 2018 sampai dengan tanggal 31 Desember 2018 yaitu sebanyak 3.699 kejadian gempa bumi. Pada dataset terdapat 7 atribut yaitu Tanggal, Waktu (UTC), *Latitude* (°), *Longitude* (°), Kedalaman (km), *Magnitude* (sr), dan Keterangan.

Tabel 1. Data Awal Gempa Bumi NTB Tahun 2018

No	Tanggal	Waktu (UTC)	Latitude (°)	Longitude (°)	Kedalaman (km)	Magnitude (sr)	Keterangan
1	2-Jan-18	1:40:52	-9.15	115.53	15	2.8	
2	2-Jan-18	2:21:30	-8.26	120.01	150	3.8	
3	2-Jan-18	3:43:01	-8.13	117.88	10	2.2	
4	2-Jan-18	12:11:45	-8.24	115.59	12	3	
...
3696	31-Dec-18	14:40:26	-9.59	118.49	10	3	
3697	31-Dec-18	15:50:22	-8.98	116.53	22	2.4	
3698	31-Dec-18	16:09:26	-8.26	116.74	10	2.7	
3699	31-Dec-18	16:15:44	-8.36	116.2	10	3	Lombok Utara III MMI,

2.2. Visualisasi Awal

Tahap Visualisasi awal ini dilakukan untuk mengamati persebaran data titik gempa bumi di Nusa Tenggara Barat yang telah diperoleh. Data yang divisualisasikan merupakan data asli dari BMKG Provinsi NTB sebelum dilakukan pra proses data. Hal tersebut bertujuan untuk mengumpulkan dan memperoleh informasi dasar seperti distribusi data sehingga dari informasi tersebut dapat digunakan untuk menentukan apakah data tersebut sudah siap digunakan dalam analisis.

2.3. Pra Proses Data

Tahapan pra proses data ini penulis melakukan transformasi dan reduksi terhadap data. Tahap transformasi dilakukan dengan merubah tipe data pada atribut tanggal yang semula *object* ke format *serial number* dengan ketentuan tanggal ke 43102

merupakan tanggal 1 setelah tanggal 1 Januari 1900 dan seterusnya. Sedangkan pada tahap reduksi data dilakukan pengurangan atribut yang ada semula ada 7 atribut di dalam dataset yaitu tanggal, waktu, *latitude*, *longitude*, kedalaman, *magnitude*, dan keterangan. Akan tetapi, dalam penelitian ini menggunakan 5 atribut yaitu Tanggal, *Latitude*, *Longitude* yang digunakan sebagai atribut *spasial temporal* serta Kedalaman dan *Magnitude* gempa yang digunakan sebagai atribut *spasial temporal* yang akan digunakan untuk menjelaskan karakteristik gempa yang terjadi. Penghapusan atribut waktu dan keterangan dilakukan karena dua atribut tersebut tidak berpengaruh pada analisis gempa bumi.

2.4. Analisis Data Spasial Temporal Menggunakan ST-DBSCAN

Setelah melakukan pra proses data, tahap selanjutnya yaitu analisis data *spasial temporal*.

Analisis data *spasial temporal* menggunakan algoritma ST-DBSCAN membutuhkan empat parameter, yaitu Eps1, Eps2, MinPts, dan $\Delta\epsilon$. Eps1 adalah jarak untuk atribut spasial. Eps2 adalah jarak untuk atribut temporal. Perhitungan jarak dengan menggunakan *Euclidean*, *Manhattan*, atau *Minkowski Distance* dapat digunakan untuk Eps1 dan Eps2. MinPts adalah jumlah minimum objek yang berada dalam jarak Eps1 dan Eps2 sedangkan $\Delta\epsilon$ digunakan untuk mencegah ditemukannya kombinasi *cluster* akibat perbedaan nilai yang cukup besar dari atribut *non-spasial* dari objek lainnya. Gambar 2 berikut menunjukkan algoritma ST-DBSCAN. Selain itu, tahapan dalam menganalisis dengan ST-BSCAN dijelaskan pada subbab berikut.

2.4.1. Menentukan Hyperparameter

Tahapan pertama yang dilakukan adalah penentuan hyperparameter. Penentuan nilai Eps dan MinPts dilakukan secara *trial and error* menggunakan grafik k-dist. Grafik tersebut dibentuk dengan menghitung jarak antar objek yang kemudian diurutkan secara menurun dan nilai jarak terkecil ke-k dari setiap objek. Pada grafik ini, sumbu x menyatakan objek yang telah diurutkan dan sumbu y menyatakan nilai jarak dari objek. Titik dimana terjadi perubahan tajam pada grafik k-dist digunakan sebagai nilai Eps dan nilai k sebagai MinPts [10].

2.4.2. Menentukan Jarak Euclidean ST_DBSCAN

Tahapan kedua yaitu menentukan jarak *euclidean*. Penentuan jarak *euclidean* dapat dilihat pada persamaan (1). Jarak *euclidean* adalah jarak antara dua objek data dari n atribut bernilai numerik, yang dinyatakan sebagai $i = xi1, xi2, \dots, xin$ dan $j = xj1, xj2, \dots, xjn$ pada ruang dimensi n (Rn) [23]:

$$d(i,j) = \sqrt{(x_{i1} - x_{j1})^2 + (x_{i2} - x_{j2})^2 + \dots + (x_{in} - x_{jn})^2} \quad (1)$$

Sedangkan untuk aspek spasial persamaan jarak *euclidean* seperti pada persamaan (2):

$$d(i,j) = \sqrt{(x_{longi} - x_{longj})^2 + (x_{lati} - x_{latj})^2} \quad (2)$$

dimana: long i = longitude data ke-i, $i=1, 2, \dots, n$
lat j = latitude data ke-j, $j=1, 2, \dots, n$

dan untuk aspek temporal persamaan jarak *euclidean* dimodifikasi seperti pada persamaan (3):

$$d(i,j) = |(x_{tanggali} - x_{tanggalj})| \quad (3)$$

dimana: Xtanggal adalah objek pada kolom tanggal dan merupakan objek satu dimensi.

2.4.3. Menentukan Jumlah Cluster

Tahapan ketiga yaitu menentukan jumlah *cluster* dengan menggunakan grafik *elbow*. Analisis *cluster* adalah suatu proses membagi sekumpulan data menjadi beberapa kelompok atau *cluster*. Semua objek yang berada di satu *cluster* memiliki kemiripan

(*similar*) antara satu dengan lainnya dan berbeda (*dissimilar*) dengan objek *cluster* lain.

2.4.4. Pengukuran Cluster ST-DBSCAN

Setelah didapatkan jumlah *cluster*, *cluster* yang dihasilkan tersebut akan dilakukan pengukuran kualitas *cluster*. Salah satu ukuran untuk mengetahui kualitas *cluster* adalah *Silhouette Coefficient*. Pada *Silhouette Coefficient* nilai(i) mewakili kepadatan *cluster* yang berisi objek i . Semakin kecil nilai $a(i)$, maka semakin padat *cluster* tersebut. Sementara itu, nilai (i) mendeskripsikan seberapa jauh objek i dari *cluster* lain. Jika (i) bernilai sangat kecil dan (i) bernilai sangat besar, maka *Silhouette Coefficient* dari i akan mendekati 1 yang berarti *cluster* sangat padat dan terpisah jauh dari *cluster-cluster* lain. Sebaliknya, jika (i) bernilai sangat besar dan (i) bernilai sangat kecil, maka *Silhouette Coefficient* dari i akan mendekati negatif 1 yang berarti *cluster* tidak padat dan berjarak sangat dekat dengan *cluster-cluster* lain [13].

Pada ST-DBSCAN dilakukan dengan cara pemanggilan fungsi '*silhouette*' pada *package* '*cluster*'. Persamaan (4) merupakan formula perhitungan koefisien *Silhouette* (Sklearn 2014) untuk satu titik sampel i :

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}} \quad (4)$$

dimana $a(i)$ merupakan rata-rata jarak *intra-cluster* dan $b(i)$ merupakan rata-rata jarak *nearest-cluster*.

2.4.5. Analisis Pola ST-DBSCAN

Tahap selanjutnya yaitu menganalisis pola dari hasil *clustering* sesuai dengan pola tipenya. Hasil *clustering* yang dapat dianalisis polanya adalah *cluster* besar yang memiliki jumlah titik minimal berjumlah 30, sedangkan untuk *cluster* yang memiliki jumlah titik kurang dari 30 merupakan *cluster* kecil dan polanya tidak dapat terdeteksi [24]. Gambar 3 menunjukkan pola *cluster* yang terjadi, pola *cluster* tersebut yaitu:

- Stationary*, dimana pola yang terjadi menunjukkan pengelompokan titik pada suatu tempat dan waktu yang sama pada periode tertentu.
- Reappearing*, pola ini dibagi menjadi dua yaitu *regular* dan *irregular*. Pola *regular* yaitu pengelompokan temporal yang dipisahkan oleh interval waktu dengan panjang interval kira-kira sama. Sedangkan pola *irregular* merupakan pengelompokan temporal yang dipisahkan oleh interval waktu dengan panjang interval yang tidak sama.
- Occasional*, yaitu pengelompokan yang terbatas waktu sehingga tidak ada pengelompokan lainnya yang terjadi pada tempat yang sama.

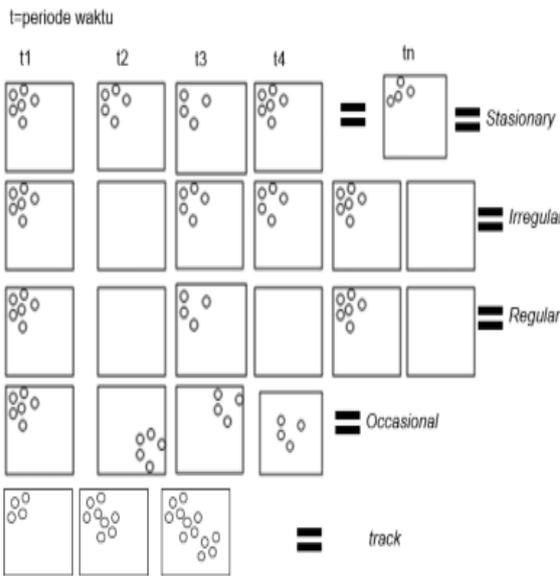
- d. *Track*, yaitu pengelompokkan temporal padat dalam peristiwa yang kemudian dialihkan dalam ruang sehubungan dengan peristiwa sebelumnya.

```

Algorithm ST_DBSCAN (D, Eps1, Eps2, MinPts, ac)
// Inputs:
// D=(o1, o2, ..., on) Set of objects
// Eps1 : Maximum geographical coordinate (spatial) distance value.
// Eps2 : Maximum non-spatial distance value.
// MinPts : Minimum number of points within Eps1 and Eps2 distance.
// ac : Threshold value to be included in a cluster.
// Output:
// C=(C1, C2, ..., Ck) Set of clusters

Cluster_Label = 0
For i=1 to n
  // (i)
  If o_i is not in a cluster Then
    // (ii)
    X=Retrieve_Neighbors(o_i, Eps1, Eps2)
    // (iii)
    If |X| < MinPts Then
      // (iv)
      Mark o_i as noise
    Else
      //construct a new cluster (v)
      Cluster_Label = Cluster_Label + 1
      For j=1 to |X|
        Mark all objects in X with current Cluster_Label
      End For
      Push(all objects in X)
      // (vi)
      While not IsEmpty()
        CurrentObj = Pop()
        Y = Retrieve_Neighbors(CurrentObj, Eps1, Eps2)
        If |Y| >= MinPts Then
          // (vii)
          ForAll objects o in Y
            If (o is not marked as noise or it is not in a cluster) and
              (Cluster_Avg() - o.Value() <= ac) Then
              Mark o with current Cluster_Label
              Push(o)
            End If
          End For
        End If
      End While
    End If
  End For
End Algorithm
    
```

Gambar 2. Algoritma ST-DBSCAN



Gambar 3. Pola ST-DBSCAN

2.5. Analisis Data Spasial Temporal Menggunakan K-Means

Setelah melakukan analisis data *spasial temporal* menggunakan ST-DBSCAN, proses selanjutnya yaitu melakukan analisis lanjutan *data spasial temporal* menggunakan K-Means. Dataset yang digunakan pada analisis ini merupakan hasil dari analisis sebelumnya dengan ST-DBSCAN. Analisis menggunakan algoritma K-Means didasarkan pada penentuan titik awal kelompoknya. K-means akan memilih pola k sebagai titik awal *centroid* secara acak atau *random*. Jumlah iterasi untuk mencapai *cluster centroid* akan dipengaruhi oleh calon *cluster centroid* awal secara random sehingga didapat cara dalam pengembangan algoritma dengan menentukan

centroid cluster yang dilihat dari kepadatan data awal yang tinggi agar mendapatkan kinerja yang lebih tinggi [22] [25].

Tahapan dalam menganalisis data spasial dengan menggunakan algoritma dasar dalam *K-Means* adalah [16]:

1. Tentukan jumlah cluster (k), tetapkan pusat *cluster* secara random.
2. Hitung jarak setiap data ke pusat *cluster* menggunakan persamaan (5).
3. Kelompokkan data ke dalam *cluster* yang dengan jarak yang paling pendek menggunakan persamaan.
4. Hitung pusat *cluster* yang baru menggunakan persamaan (6).
5. Ulangi langkah 2 sampai dengan 4 hingga sudah tidak ada lagi data yang berpindah ke *cluster* yang lain.

Jarak *Euclidean* mengukur jumlah kuadrat perbedaan nilai masing-masing variabel. Jarak *Euclidean* didefinisikan sebagai berikut [9]: dengan rumusan seperti pada Persamaan (5).

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^p (x_{ij} - c_{kj})^2} \tag{5}$$

Dengan:

d_{ik} = jarak antara objek ke-i dengan objek ke-k

p = banyaknya variabel

x_{ij} = nilai pengamatan ke-i pada variabel ke-j

c_{kj} = nilai pengamatan ke-k pada variabel ke-j

Nilai pusat *cluster* yang baru dapat dihitung dengan cara mencari nilai rata-rata dari data-data yang menjadi anggota pada *cluster* tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan (6).

$$c_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^p x_{ij}}{p} \tag{6}$$

Selain itu, Metode Elbow merupakan suatu metode yang digunakan untuk menghasilkan informasi dalam menentukan jumlah cluster terbaik dengan cara melihat persentase hasil perbandingan antara jumlah cluster yang akan membentuk siku pada suatu titik. Berikut ini tahapan algoritma metode Elbow dalam menentukan nilai k pada K-Means [2]:

1. Menginisialisasi awal nilai k
2. Menaikkan nilai k
3. Menghitung hasil *sum of square error* dari tiap nilai k
4. Analisis hasil *sum of square error* dari nilai k yang mengalami penurunan secara drastis
5. Cari dan tetapkan nilai k yang berbentuk siku.

Pada metode Elbow nilai *cluster* terbaik yang akan diambil dari nilai *Sum of Square Error* (SSE) yang mengalami penurunan yang signifikan dan berbentuk siku. Untuk menghitung SSE menggunakan rumus pada persamaan (7):

$$SSE = \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in S_k} \|X_i - C_k\|^2 \tag{7}$$

Dimana:

K = jumlah *cluster*

x_i = data ke - i

C_k = *centroid cluster*

Sum of Square Error (SSE) merupakan rumus yang digunakan untuk mengukur perbedaan antara data yang diperoleh dengan model perkiraan yang telah dilakukan sebelumnya. *SSE* sering digunakan sebagai acuan penelitian terkait dalam menentukan optimal *cluster*.

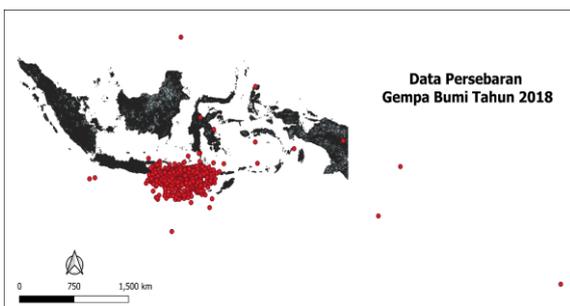
2.6. Evaluasi

Tahapan yang terakhir yaitu melakukan evaluasi. Evaluasi pada penelitian ini yaitu mengamati ulang hasil analisis dari kedua algoritma tersebut apakah mendapatkan hasil pola kejadian gempa yang terbentuk sehingga dapat digunakan untuk menentukan *prone area* kejadian gempa bumi di NTB pada tahun 2018.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Visualisasi Awal

Data awal gempa bumi divisualisasikan dalam bentuk Gambar 4. Titik berwarna merah merupakan jenis persebaran titik gempa bumi yang terjadi di wilayah Nusa Tenggara Barat dalam kurun waktu satu tahun di tahun 2018. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa persebaran titik gempa tidak hanya terjadi di Provinsi NTB saja tetapi juga ada yang tersebar di luar wilayah Indonesia. Akan tetapi, data yang akan digunakan hanya berfokus pada data gempa bumi yang terjadi di Nusa Tenggara Barat.



Gambar 4. Visualisasi Awal.

3.2. Hasil Pra Proses Data

Hasil dari pra proses data dengan atribut Tanggal, *Latitude*, *Longitude* didapatkan 3680 data. Table 2. menunjukkan bahwa tanggal pada data gempa bumi sudah diubah dalam bentuk number dan data yang digunakan hanya 3680 data dengan 5 variabel saja.

Tabel 2. Hasil Pra Proses Data

No	Tanggal	Latitude	Longitude	Kedalaman	Magnitudo
1	43102	-9.15	115.53	15	2.8
2	43102	-8.26	120.01	150	3.8
3	43102	-8.13	117.88	10	2.2
4	43102	-8.24	115.59	12	3.0

...
3677	43465	-8.98	116.53	22	2.4
3678	43465	-8.26	116.74	10	2.7
3679	43465	-8.36	116.2	10	3
3680	43465	-8.22	116.75	14	3.3

3.3. Hasil Analisis Data Spasial Temporal Menggunakan ST-DBSCAN

Data yang digunakan dalam analisis ini yaitu parameter tanggal kejadian gempa, *latitude* dan *longitude*. Sedangkan untuk data kedalaman dan *magnitudo* tidak digunakan pada tahapan ini karena akan dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan *K-Means*. Langkah pertama yang dilakukan, penulis menentukan nilai optimal dari parameter yang diperlukan, yaitu *Eps1* berdasarkan lintang dan bujur, *Eps2* berdasarkan tanggal kejadian gempa dan kerapatan *cluster* dan *MinPts* yang merupakan jumlah minimum gempa bumi yang mungkin dalam satu *cluster*. Penentuan nilai parameter dilakukan melalui *trial and error*. Penentuan *Eps1* ini, penulis menggunakan grafik jarak yang dibentuk dengan menghitung jarak spasial antar objek. Kemudian mengurutkan hasil tersebut secara menurun dan memplotnya sebagai grafik titik. Merujuk penelitian [11], titik dimana terjadi perubahan signifikan pada grafik *k-dist* akan digunakan sebagai nilai *Eps* dan nilai *k* sebagai *MinPts*. Dari hasil tersebut, penelitian ini memiliki kurva siku antara 0,1 sampai dengan 1.

Langkah kedua yaitu menentukan titik minimum *MinPts*, penentuan *MinPts* dilakukan dengan menerapkan pengelompokan *DBSCAN*. Dua pengelompokan *DBSCAN* membutuhkan dua parameter yaitu ambang spasial (*Eps1*) dan titik minimum (*MinPts*). Penulis menguji jumlah *MinPts* yang berbeda menggunakan beberapa nilai *Eps1*, dalam kisaran 0,1 hingga 1 dengan kelipatan 0,05. Dalam menentukan kluster utama dengan jumlah kepadatan data yang sebanding, penulis membatasi jumlah percobaan *MinPts* dari dua sampai sepuluh poin, hal tersebut didasarkan bahwa nilai optimal *MinPts* adalah $\ln(n)$ dimana jumlah dari total keseluruhan dataset yang digunakan [2]. Setelah itu untuk menilai pengelompokan tersebut, penulis menggunakan Indeks *Silhouette*. Nilai Indeks *Silhouette* tertinggi digunakan untuk mendapatkan rekomendasi *Eps1* dan *MinPts*.

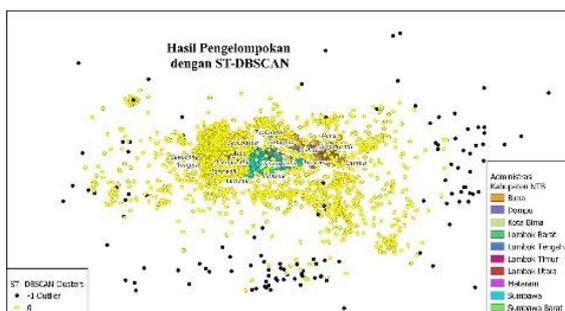
Langkah ketiga yaitu dengan menentukan *Eps2* menggunakan pengelompokan *ST-DBSCAN*. Pengelompokan menggunakan *ST-DBSCAN* ini membutuhkan tiga parameter yaitu *Eps1*, *MinPts*, dan *Eps2*. Dalam menentukan *Eps2*, penulis membatasi jumlah percobaan pada *Eps2* sampai dengan 15 hari. Pembatasan 15 hari ini merujuk pada penelitian [9] bahwa rentang waktu 2 sampai 15 hari merupakan waktu yang ideal untuk mengamati fenomena alam. Rekomendasi *Eps2* ini diambil berdasarkan nilai tertinggi dari Indeks *Silhouette*. Table 3. menunjukkan hasil *Eps1*, *Eps2*, *MinPts*, dan hasil perhitungan *Silhouette*. Indeks *Silhouette* tertinggi dengan score 0.2971 yang berada di *Eps1*: 0,95, *Eps2*: 15, dan

MinPts: 7. Hasil dari tabel inilah yang akan digunakan sebagai hyperparameter untuk melakukan analisis menggunakan ST-DBSCAN.

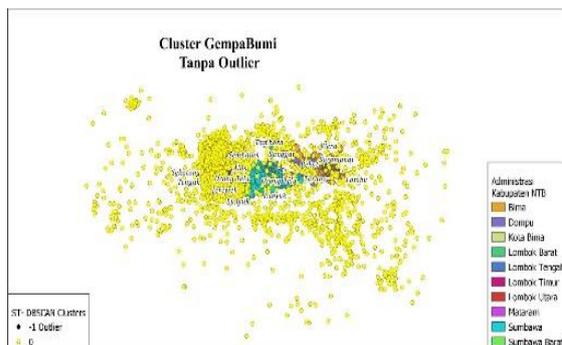
Tabel 3. Hasil Eps 1, Eps 2, MinPts, dan *Silhouette*

Eps 1	Eps2	MinPts									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		<i>Silhouette Index</i>									
0,1	5	-0,7673	-0,6043	-0,4629	-0,4499	-0,3841	-0,376	-0,3869	-0,0249	-0,1952	
	10	-0,8101	-0,7531	-0,776	-0,6546	-0,6417	-0,6231	-0,5273	0,0776	0,1125	
	15	-0,8031	-0,7402	-0,2856	-0,2166	-0,2044	-0,6282	-0,6276	0,0970	0,0972	
0,15	5	-0,7564	-0,4197	-0,2177	-0,0515	-0,0146	0,1412	0,1433	-0,3211	-0,3167	
	10	-0,791	-0,5561	-0,454	-0,4591	-0,2112	-0,2038	-0,0793	-0,0414	-0,4881	
	15	-0,7537	-0,5517	-0,4226	-0,4278	-0,2040	-0,2017	-0,2030	-0,1258	0,0496	
0,85	5	-0,746	-0,6958	-0,5284	-0,3063	-0,3081	-0,3075	-0,245	-0,2628	-0,2583	
	10	-0,8244	-0,8245	-0,7545	-0,654	-0,3013	-0,3581	-0,3151	-0,3138	-0,3096	
	15	-0,7403	-0,7352	-0,7559	-0,6533	-0,6132	-0,2681	-0,2645	-0,2626	-0,1298	
0,95	5	-0,8243	-0,7958	-0,5481	-0,2114	-0,1578	-0,1002	-0,0971	-0,094	-0,2289	
	10	-0,8337	-0,8203	-0,756	-0,6593	-0,6628	0,2872	-0,1428	-0,3164	-0,3157	
	15	-0,7463	-0,7175	-0,7422	-0,6249	-0,3810	0,2971	-0,2771	-0,2379	-0,1410	
1	5	-0,8289	-0,797	-0,6868	-0,3974	-0,1586	-0,1501	-0,0819	-0,0997	-0,0953	
	10	-0,8348	-0,8178	-0,7312	-0,4232	-0,4165	-0,3084	-0,1436	-0,1447	-0,1435	
	15	-0,7396	-0,6949	-0,5932	-0,4163	-0,4100	0,2003	0,1793	0,1761	-0,1627	

Hyperparameter pengelompokan menggunakan ST-DBSCAN telah ditentukan dengan ambang spasial (Eps1) adalah 0,95, ambang temporal (Eps2) adalah 15 hari, dan titik minimum kepadatan *cluster* (MinPts) adalah 7 kejadian gempa bumi. Dengan menerapkan ST-DBSCAN pada dataset gempa bumi, kita dapat mengidentifikasi data yang berperan sebagai *noise/outlier* pada data yang menjadi anggota *cluster* sesuai dengan kondisi yang ditentukan. Di sini, penulis menemukan dari 3680 data, terdapat 135 yang menjadi *noise/outliers*. Gambar 5 menunjukkan hasil *cluster* menggunakan ST-DBSCAN, terdapat *noise* pada data tersebut yang tergambar menggunakan titik berwarna hitam. Sedangkan titik berwarna kuning merupakan data yang akan digunakan dalam proses analisis.



Gambar 5. Hasil Pengelompokan dengan ST-DBSCAN



Gambar 6. Hasil Cluster ST-DBSCAN Tanpa *Noise*

Sedangkan, Gambar 6. menunjukkan analisis data dengan menggunakan ST-DBSCAN sesuai dengan hyperparameter yang telah ditentukan menghasilkan satu *cluster* data, yaitu *cluster* 0 yang merupakan data yang akan digunakan untuk analisis yang letaknya tersebar di seluruh wilayah Provinsi Nusa Tenggara Barat.

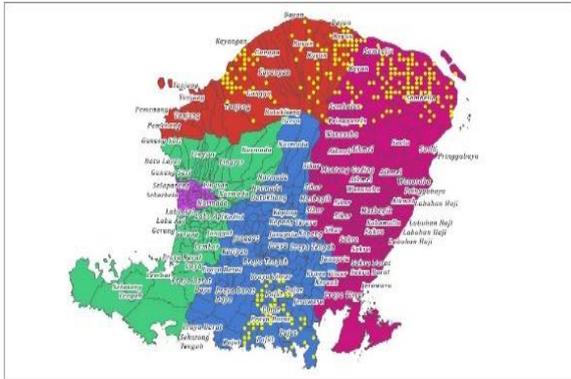
Cluster ini merupakan 96,33% dari jumlah keseluruhan data yang ada dan terjadi pada kurun waktu 1 Januari sampai dengan 31 Desember 2018 atau selama 345 hari. Dalam menganalisis sebaran data secara spasial, penulis menerapkan pendekatan *geoprocessing* wilayah administrasi NTB. Secara administrasi pada tahun 2017 Provinsi Nusa Tenggara Barat terdiri dari 8 kabupaten, 2 kotamadya, 116 kecamatan, 142 kelurahan, dan 995 desa serta diperkirakan jumlah penduduknya mencapai 5.217.338 jiwa dengan total luas wilayah 18.572,32 km². Analisis pada *cluster* ST-DBSCAN tersebut didapatkan hasil yang berada pada Tabel 4. Tabel 4. menunjukkan persebaran gempa di wilayah administrasi NTB.

Tabel 4. Persebaran Gempa NTB Berdasarkan *Cluster* ST-DBSCAN

No	Daerah	Jumlah Gempa
1	Lombok Utara	188
2	Lombok Timur	292
3	Lombok Tengah	244
4	Lombok Barat	126
5	Kota Mataram	36
6	Sumbawa Barat	84
7	Sumbawa	76
8	Dompu	59
9	Bima	38
10	Kota Bima	1

Hasil dari analisis *cluster* kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta atau gambar sehingga dapat dilihat persebarannya. Akan tetapi, Gambar 7. hanya mengambil *sample* persebaran kejadian gempa bumi tertinggi di lima kecamatan pada wilayah custer yang terbentuk. Lima kecamatan

tersebut berada di Lombok Utara, Lombok Timur, dan Lombok Tengah. Jumlah persebaran gempa pada lima kecamatan tersebut yaitu, Kecamatan Bayan 60 kejadian gempa, Kecamatan Gangga 49 kejadian gempa, Kecamatan Sembalun 48 kejadian gempa, Kecamatan Sambelia 112 kejadian gempa, dan Kecamatan Pujut 79 kejadian gempa.



Gambar 7. Persebaran Gempa Tertinggi di 5 Kecamatan

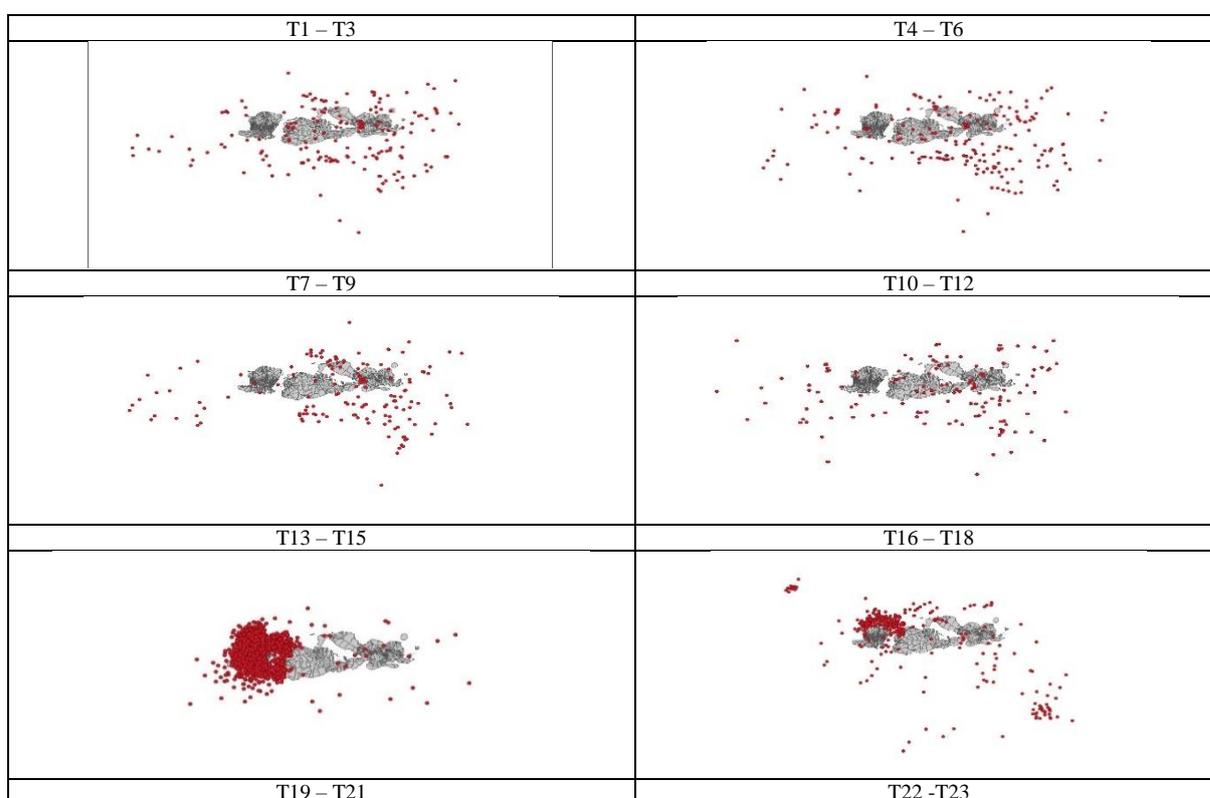
Berdasarkan dari hasil *cluster* yang terbentuk, penulis kemudian menganalisis pola kejadian gempa

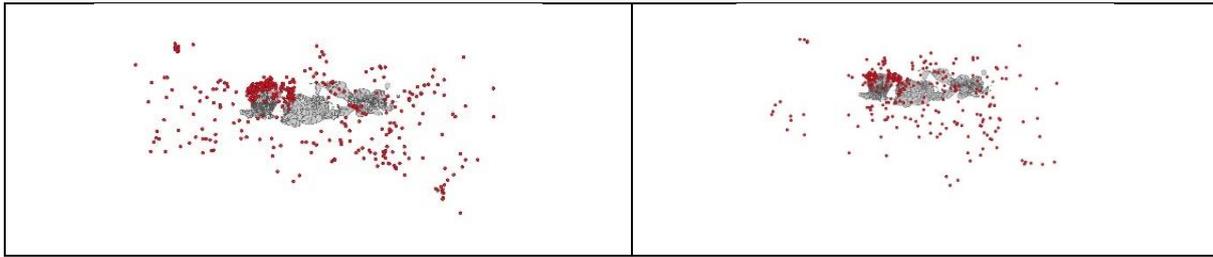
bumi. Gambar 8 menunjukkan pola kejadian gempa bumi di NTB. Didapatkan hasil bahwa pola kejadian gempa yang terbentuk adalah *stationary*. Pada periode satu (T1) sampai dengan periode kedua belas (T12) terjadi pola gempa bumi yang menyebar di wilayah timur Provinsi Nusa Tenggara Barat yaitu daerah Sumbawa Barat, Sumbawa, Dompu dan Bima. Pada periode ketiga belas (T13) sampai dengan enam belas (T16) persebaran gempa bergerak ke arah utara dan barat dan membentuk pola *stationary*. Pada periode waktu ini persebaran banyak terjadi di wilayah Lombok Timur, Lombok Tengah, dan Lombok Utara. Walaupun kejadian gempa bumi mengalami penurunan pada T17 tetapi kejadian gempa bumi kembali naik pada T18 hingga T23 dan pusat gempa bumi bergerak menyebar kembali ke seluruh wilayah NTB. Pada periode T1 sampai dengan T23, kejadian gempa bumi paling banyak terjadi pada T14 pada tanggal 5 sampai dengan 19 Agustus 2018 dengan jumlah 837 kejadian gempa bumi yang tersebar paling banyak di Lombok Utara. Persebaran gempa bumi yang terjadi dalam kurun waktu T1 sampai dengan T23 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Periode Waktu Persebaran Gempa Bumi

Tanggal	Latitude	Longitude	Jenis Gempa		Kabupaten	Kecamatan	Periode Waktu	Jumlah
			Dangkal/ Menengah/Dalam	Darat/Laut				
43102	-9.15	115.53	Dangkal	Laut			T1	
...	...	...	...	...	...	...	...	73
43117	-8.64	119.29	Menengah	Laut			T1	
43118	-8.55	118.38	Menengah	Laut			T2	
...	...	...	...	...	...	...	...	41
43133	-10.41	117.55	Dangkal	Laut			T2	
43136	-7.62	119.95	Dangkal	Laut			T3	
...	...	...	...	...	...	...	...	57
43151	-8.47	117.49	Menengah	Darat	Sumbawa	Moyo Utara	T3	
43152	-10.15	120.32	Dangkal	Laut			T4	
...	...	...	...	...	...	...	...	65
43167	-9.08	118.15	Dangkal	Laut			T4	
43168	-9.44	118.07	Dangkal	Laut			T5	
...	...	...	...	...	...	...	...	82
43182	-7.84	117.35	Dangkal	Laut			T5	
43183	-8.6	118.41	Menengah	Darat	Dompu	Dompu	T6	
...	...	...	...	...	...	...	...	52
43201	-9.39	118.38	Dangkal	Laut			T6	
43202	-10.08	119.24	Menengah	Laut			T7	
...	...	...	...	...	...	...	...	48
43217	-9.82	119.13	Dangkal	Laut			T7	
43218	-9.27	117.38	Menengah	Laut			T8	
...	...	...	...	...	...	...	...	37
43237	-9.28	117.25	Dangkal	Laut			T8	
43238	-9.3	120.24	Menengah	Laut			T9	
...	...	...	...	...	...	...	...	60
43253	-9.32	115.13	Menengah	Laut			T9	
43254	-9.54	117.32	Dangkal	Laut			T10	
...	...	...	...	...	...	...	...	42
43270	-8.31	119.89	Menengah	Laut			T10	
43271	-9.22	118.94	Dangkal	Laut			T11	
...	...	...	...	...	...	...	...	53
43285	-9.65	119.03	Dangkal	Laut			T11	
43286	-9.94	119.25	Dangkal	Laut			T12	
...	...	...	...	...	...	...	...	38
43300	-8.9	118.05	Menengah	Laut			T12	
43302	-7.94	117.37	Dangkal	Laut			T13	
...	...	...	...	...	...	...	...	460
43316	-8.8	116.37	Dangkal	Darat	Lombok Tengah	Praya Timur	T13	

Tanggal	Latitude	Longitude	Jenis Gempa		Kabupaten	Kecamatan	Periode Waktu	Jumlah
			Dangkal/ Menengah/Dalam	Darat/Laut				
43317	-8.73	116.32	Dangkal	Darat	Lombok Tengah	Praya Tengah	T14	837
...	
43331	-8.92	116.56	Dangkal	Laut	...	...	T14	554
43332	-8.88	116.69	Dangkal	Laut	...	...	T15	
...	...	...	...	...	...	...	...	110
43345	-8.21	116.68	Dangkal	Laut	...	...	T15	
43346	-8.1	116.86	Dangkal	Laut	...	...	T16	95
...	
43360	-8.43	115.96	Dangkal	Laut	...	...	T16	152
43361	-8.17	116.29	Dangkal	Laut	...	...	T17	
...	...	...	...	...	...	...	...	118
43375	-9.37	115.19	Dangkal	Laut	...	...	T17	
43376	-10.62	120.16	Dangkal	Laut	...	...	T18	121
...	
43390	-8.54	115.59	Dangkal	Laut	...	...	T18	155
43391	-8.28	116.19	Dangkal	Laut	...	...	T19	
...	...	...	...	...	...	...	...	95
43405	-8.45	114.21	Menengah	Laut	...	...	T19	
43406	-9.38	116.26	Dangkal	Laut	...	...	T20	200
...	
43420	-8.27	116.2	Dangkal	Laut	...	...	T20	155
43421	-9.66	119.17	Dangkal	Laut	...	...	T21	
...	...	...	...	...	...	...	...	95
43435	-8.29	116.26	Dangkal	Darat	Lombok Utara	Kayangan	T21	
43436	-8.96	113.77	Dangkal	Laut	...	...	T22	200
...	
43450	-8.88	116.65	Dangkal	Laut	...	...	T22	95
43451	-8.34	116.75	Dangkal	Laut	...	...	T23	
...	...	...	...	...	...	...	...	200
43465	-8.22	116.75	Dangkal	Laut	...	...	T23	





Gambar 8. Pola Kejadian Gempa Bumi

3.4. Hasil Analisis Lanjutan Data Spasial Temporal Menggunakan K-Means

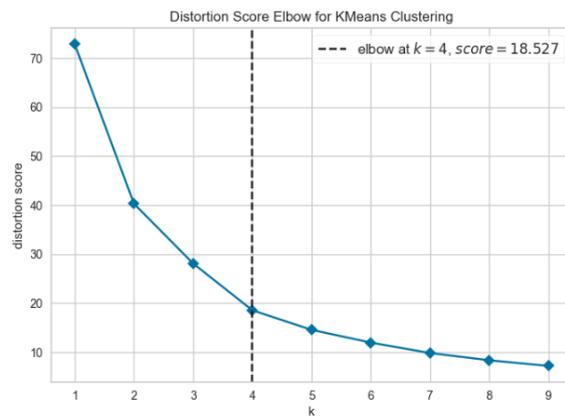
Setelah mendapatkan hasil analisis data *spasial temporal* menggunakan ST-DBSCAN, kemudian selanjutnya dilakukan analisis data *spasial temporal* menggunakan K-Means. Dataset yang digunakan merupakan hasil dari analisis dengan ST-DBSCAN yaitu data yang terletak di *cluster 0*. Akan tetapi, atribut yang akan digunakan dalam proses analisis pada K-Means adalah kedalaman dan magnitudo saja. Tabel 6 menunjukkan data yang terdapat pada *cluster 0* hasil dari analisis ST-DBSCAN.

Tabel 6. Data Cluster Analisis ST-DBSCAN

No	Kedalaman (km)	Magnitudo (sr)
1	15	2.8
2	150	3.8
3	10	2.2
4	12	3
...
3542	22	2.4
3543	10	2.7
3544	10	3
3545	14	3.3

Dalam analisis ini jumlah cluster yang dibutuhkan tidak pasti, sehingga pada penelitian ini

penulis menggunakan pendekatan *heuristic* dengan *elbow method* untuk mengidentifikasi nilai optimal K (jumlah cluster). Gambar 9 menunjukkan hasil grafik engsel yang jelas seperti *elbow* dan titik tersebut dianggap nilai K yang didapat secara optimal yaitu K = 4 dengan *score* 18,527. Selain itu, tabel 7 menunjukkan *silhouette score*, jumlah gempa, rata-rata kedalaman dan kekuatan gempa yang di hasilkan pada setiap *cluster* nya.



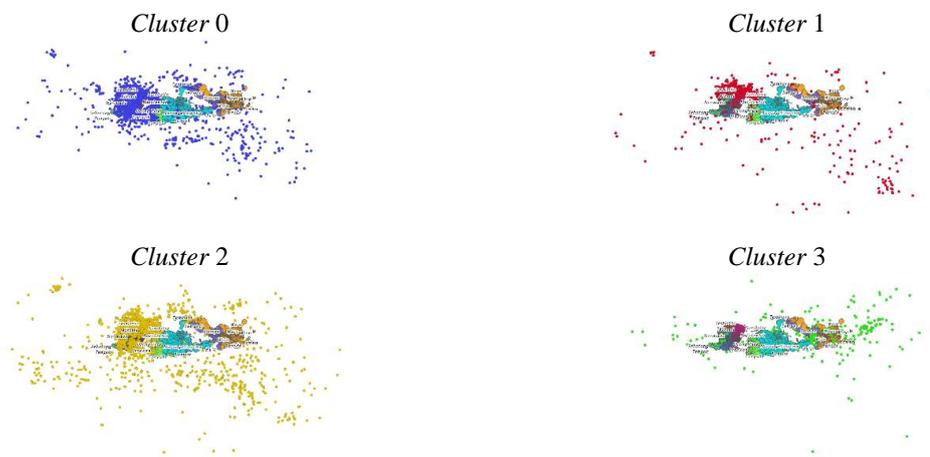
Gambar 9. Grafik Elbow

Tabel 7. Hasil Nilai *Silhouette*, Jumlah Gempa, Kedalaman dan Kekuatan Gempa

Cluster	0	1	2	3
<i>Silhouette Score</i>	0.5157491311275297	0.35270824641979237	0.526280244292313	0.18027005588432196
Jumlah Gempa	1331	464	1515	235
Rata-rata Kedalaman	1 – 121 km	1 – 187 km	1 – 90 km	92 – 592 km
Rata-rata Kekuatan	1,6 – 2,8 sr	3, 8 – 7sr	2,9 – 3,7 sr	2,1 – 5,3 sr

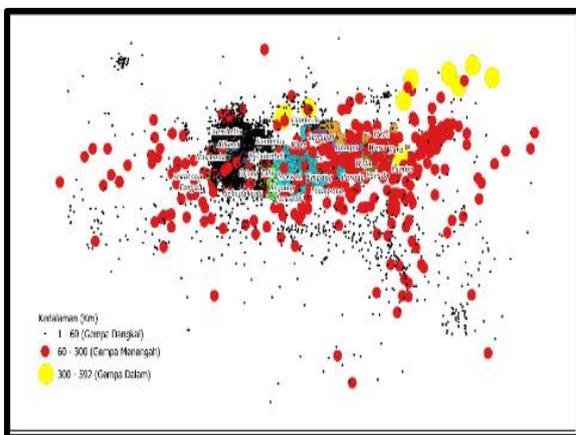
Kemudian hasil dari *cluster* tersebut divisualisasikan dalam bentuk peta bentuk plot

berdasarkan kedalaman dan *magnitude*-nya sehingga dapat dilihat persebarannya pada gambar 10.

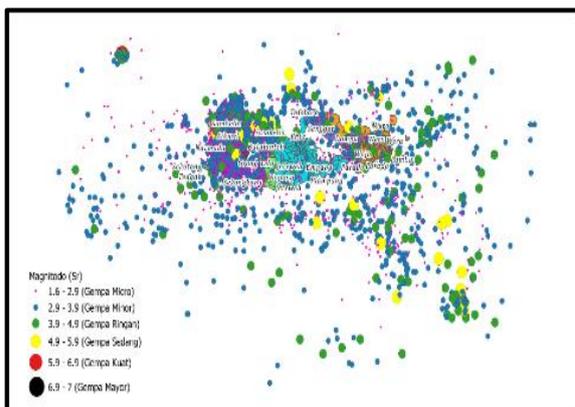


Gambar 10. Visualisasi Cluster K-Means

Selanjutnya, penulis memvisualisasikan hasil tersebut berdasarkan kedalaman yang terjadi. Berdasarkan kedalamannya, gempa dibedakan menjadi gempa bumi dalam, menengah dan dangkal [2][3]. Gambar 11 menunjukkan titik berwarna hitam merupakan jenis gempa dangkal dengan kedalaman berada pada 1 sampai dengan kurang 60 Km di bawah permukaan bumi, titik berwarna merah jenis merupakan jenis gempa menengah dengan kedalaman berada pada 60 sampai dengan kurang dari 300 Km di bawah permukaan bumi, sedangkan titik berwarna kuning merupakan jenis gempa dalam dengan kedalaman berada pada 300 sampai dengan 592 Km di bawah permukaan bumi. Oleh karena itu, semakin besar lingkaran pada gambar maka kedalaman gempa semakin dalam begitu pula semakin kecil lingkaran yang terbentuk maka semakin dangkal gempa yang terjadi.



Gambar 11. Plot titik Gempa Berdasarkan Kedalaman



Gambar 12. Plot Titik Gempa Berdasarkan Magnitudo

Selain itu, penulis juga memvisualisasikan persebaran gempa bumi berdasarkan kekuatannya. Berdasarkan kekuatannya, gempa bumi dibedakan menjadi gempa *micro*, *minor*, ringan, sedang, kuat dan *mayor*. Gambar 12 menunjukkan terdapat 6 titik dengan penjelasan bahwa titik berwarna ungu merupakan jenis gempa *micro* dengan kekuatan gempa 1,6 sampai dengan kurang dari 2,9 Sr, titik berwarna biru merupakan jenis gempa *minor* dengan kekuatan gempa 2,9 sampai dengan kurang dari 3,9

Sr, titik berwarna hijau merupakan jenis gempa ringan dengan kekuatan gempa di kisaran 3,9 sampai dengan kurang dari 4,9 Sr, titik berwarna kuning merupakan jenis gempa sedang dengan kekuatan gempa di kisaran 4,9 sampai dengan kurang dari 5,9 Sr, titik berwarna merah merupakan jenis gempa kuat dengan kekuatan gempa di kisaran 5,9 sampai dengan kurang dari 6,9 Sr, sedangkan titik berwarna hitam merupakan jenis gempa *mayor* dengan kekuatan gempa di kisaran 6,9-7,0 Sr.

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan algoritma K-Means berdasarkan atribut yang digunakan yaitu kedalaman dan *magnitudo* diperoleh 4 *cluster* yang terbentuk dimana pada *cluster* 0 rata-rata memiliki *magnitudo* 1,6–2,8 Sr yang termasuk dalam jenis gempa *micro* dengan jumlah kejadian sebanyak 1331 dan rata-rata kedalaman di kisaran 1-121 Km di bawah permukaan bumi yang mana termasuk dalam jenis gempa dangkal dan menengah, gempa bumi yang terjadi mayoritas berada di daerah Lombok Tengah. Pada *cluster* 0 gempa bumi yang terjadi di daratan sebanyak 575 dan lautan sebanyak 756. Kemudian gempa bumi yang terjadi pada *cluster* 1 rata-rata memiliki *magnitudo* 3,8–7,0 Sr yang termasuk dalam beberapa jenis gempa yaitu gempa *minor*, gempa ringan, gempa sedang, gempa kuat serta gempa *mayor* dengan jumlah kejadian sebanyak 463 dan dengan rata-rata kedalaman di kisaran 1-187 Km di bawah permukaan bumi yang termasuk dalam jenis gempa dangkal dan menengah, gempa bumi yang terjadi mayoritas berada di Kecamatan Sembalun Lombok Timur serta Kecamatan Gangga Lombok Utara. *Cluster* 1 ini memiliki kejadian gempa bumi yang terjadi di daratan sebanyak 89 dan lautan sebanyak 374. Kemudian gempa bumi yang terjadi pada *cluster* 2 rata-rata memiliki *magnitudo* 2,9-3,7 Sr termasuk dalam jenis gempa minor dengan jumlah kejadian sebanyak 1515 dimana gempa bumi yang terjadi di daratan sebanyak 407 dan lautan sebanyak 1108. Rata-rata kedalaman di kisaran 1-90 Km di bawah permukaan bumi yang mana termasuk dalam jenis gempa dangkal dan menengah, gempa bumi yang terjadi mayoritas berada di Lombok Timur. Kemudian gempa bumi yang terjadi pada *cluster* 3 rata-rata memiliki *magnitudo* 2,1-5,3 Sr yang termasuk dalam beberapa jenis gempa yaitu gempa *micro*, gempa *minor*, gempa ringan serta gempa sedang dengan jumlah kejadian sebanyak 235 dimana gempa bumi yang terjadi di daratan sebanyak 74 dan lautan sebanyak 161 dan dengan rata-rata kedalaman di kisaran 92-592 di bawah permukaan bumi yang mana termasuk dalam jenis gempa dangkal, menengah, dan dalam, gempa bumi yang terjadi mayoritas berada di daerah Dompu.

Pada hasil keempat *cluster* tersebut, analisis difokuskan pada *cluster* 1. Pada *cluster* 1 ini menunjukkan bahwa terdapat *prone area* dari persebaran gempa bumi di Provinsi NTB berdasarkan *magnitudo* dan kedalamannya yang berada di dua

kecamatan yaitu Kecamatan Gangga di Lombok Utara dan Kecamatan Sembalun di Lombok Timur. Kedua daerah tersebut merupakan *prone area* gempa bumi di wilayah NTB dikarenakan letaknya yang berada pada pegunungan dan banyak ditemukan gempa yang bersifat dangkal. Wilayah yang termasuk ke dalam *prone area* ini akan berdampak lebih berat karena wilayah tersebut sering menjadi titik terjadinya gempa bumi sehingga menimbulkan kerusakan baik secara material ataupun psikis bagi masyarakat sekitar.

3.5. Evaluasi

Setelah dilakukannya analisis data *spasial temporal* menggunakan ST-DBSCAN dan menggunakan K-Means maka hal terakhir yang dilakukan adalah mengevaluasi hasil pengelompokan titik kejadian gempa bumi yang terbentuk. Pada ST-DBSCAN didapatkan satu *cluster*, sedangkan pada K-Means didapatkan empat *cluster* akan tetapi difokuskan pada *cluster 1* dimana pada *cluster* ini *magnitude* gempa diatas 3,5 Sr sampai dengan 7 Sr dengan jenis gempa dangkal dan menengah. Hasil dari analisis *cluster* ST-DBSCAN, *prone area* gempa bumi berdasarkan lokasi dan tanggal terjadinya gempa pada tanggal 5 sampai dengan 19 Agustus 2018 yaitu berada di Kabupaten Kecamatan Gangga di Kabupaten Lombok Utara dan Kecamatan Sembalun di Kabupaten Lombok Timur. Akan tetapi, hasil tersebut belum didasarkan pada *magnitude* dan kedalaman gempa yang terjadi. Kemudian dari hasil *cluster* menggunakan K-means daerah yang mengalami gempa bumi sedang atau kuat juga terjadi di wilayah Kecamatan Gangga dan Sembalun pada tanggal 5 dan 9 Agustus 2018 dengan *magnitude* 6,8sr dan 6,2sr. Dapat disimpulkan bahwa dari kedua *cluster* tersebut mendapatkan hasil analisis *prone area* gempa bumi yang sama berdasarkan kekuatannya dan lokasinya. Kecamatan Gangga dan Sembalun menjadi daerah rawan gempa bumi dikarenakan pada daerah tersebut terdapat sesar lokal yang aktif serta berada pada lereng gunung rinjani. Kemudian posisi kontur tanah yang memiliki kemiringan lebih dari 15% juga dapat menimbulkan kerusakan yang parah jika terjadi gempa terus-menerus dengan kekuatan yang besar.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan dua metode tersebut, dapat dilihat bahwa pola yang terjadi pada wilayah Nusa Tenggara Barat ini merupakan pola *stationary*. Akan tetapi tidak menutup kemungkinan hal yang tidak diinginkan bisa terjadi karena dari dua metode yang digunakan tersebut menunjukkan bahwa hampir seluruh gempa yang terjadi bersifat dangkal. Dari data gempa pada tahun 2018 didapatkan bahwa terdapat dua gempa bumi dengan *magnitude* besar dan bersifat dangkal yaitu terjadi di Lombok Timur dan Lombok Utara mengakibatkan kerusakan fasilitas dan jumlah korban jiwa dengan angka yang tinggi.

4. DISKUSI

Penelitian ini menggunakan penelitian sebelumnya untuk menjadi dasar atau acuan. Penelitian sebelumnya telah menggunakan algoritma *clustering* untuk menganalisis data *spasial temporal* gempa bumi. Akan tetapi hanya menggunakan satu algoritma *clustering*, yaitu DBSCAN, ST-DBSCAN, atau K-Means.

Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Lizda Iswari pada tahun 2022 dengan judul “*Profiling the and Earthquake Occurances Using ST-DBSCAN Algorithm*”. Penelitian tersebut menjelaskan pola gempa bumi di NTB tetapi hanya berdasarkan aspek *spasial temporal* saja dan hanya sampai pada tingkat kabupaten. Hasil dari penelitian yang dilakukan Lizda Iswari pada tahun 2022 menunjukkan bahwa pola yang terbentuk yaitu *stationary*.

Kemudian pada penelitaian yang dilakukan oleh Reviantika Ferin, harahap Citra Naully dan Azhar Yufis pada tahun 2020 dengan judul ” Analisis Gempa Bumi Pada Pulau Jawa Menggunakan *Clustering* Algoritma K-Means” mendapatkan hasil Hasil *clustering* ditampilkan dengan peta dan algoritma K-Means lebih unggul dengan nilai *indeks silhouette* 0.54 sedangkan algoritma DBSCAN memiliki nilai *indeks silhouette* 0.17.

Oleh karena itu, pada penelitian ini menggabungkan dua metode yaitu ST-DBSCAN dengan melihat atribut tanggal, latitude dan longitude yang kemudian di analisis lanjut lagi dengan melihat persamaan karakteristik gempa berdasarkan *magnitude* dan kedalaman menggunakan K-Means. Penelitian ini menganalisis sampai pada tingkat kecamatan sehingga dapat diketahui pola persebaran gempa dan *prone area* gempa bumi. Penelitian ini memiliki keterbatasan hanya berada satu provinsi saja dan masih sampai dengan tingkat kecamatan sehingga *prone area* yang didapatkan belum terlalu spesifik menunjukkan desa mana yang menjadi *prone area*.

5. KESIMPULAN

Hasil penelitian *profiling* properti spasial temporal dan identifikasi *prone area* gempa bumi menggunakan ST-DBSCAN dan K-means *clustering* didapatkan kesimpulan bahwa kedua algoritma tersebut dapat digunakan untuk menganalisis kejadian gempa bumi. Hasil dari *cluster* kedua algoritma tersebut bahwa terdapat pola kejadian gempa bumi yang menunjukkan adanya *prone area* gempa bumi di Wilayah NTB yang harus menjadi perhatian pemerintah. Dari hasil tersebut diketahui juga bahwa gempa yang terjadi di Provinsi NTB hampir seluruhnya merupakan gempa dangkal. Terdapat empat *prone area* gempa yaitu Kabupaten Lombok Utara di Kecamatan Gangga serta Bayan dan Kabupaten Lombok Timur di Kecamatan Sambelia serta Sembalun. Penulis berharap penelitian

selanjutnya dapat mencoba dengan algoritma *cluster* dan wilayah yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. H. Qothrunnada, R. Y. Utami, and R. S. Amanda, "Menganalisis Bencana Alam Gempa Bumi Dalam Perspektif Al-Quran. Konferensi Integrasi Interkoneksi Islam dan Sains", *Yogyakarta: FST UIN SUKA Yogyakarta*, pp. 255-260, 2022.
- [2] A. Ricky, D. Ridho, Marizka, dkk, "Implementasi Business Intelligence Menentukan Daerah Rawan Gempa Bumi di Indonesia dengan Fitur Geolokasi", *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika*, Vol. 4, No. 1, 2018.
- [3] BPBD Kota Banda Aceh, *BPBD Kota Banda Aceh*. Retrieved from *BPBD Kota Banda Aceh*: <https://bpbk.bandaacehkota.go.id/2018/08/05/pengertian-gempa-bumi-jenis-jenis-penyebab-akibat-dan-cara-menghadapi-gempa-bumi/> . 2018, Agustus 5.
- [4] BMKG, "Tentang Gempa Bumi". BMKG, 2023. http://inatews2.bmkg.go.id/new/tentang_eq.php
- [5] BPS, "Provinsi Nusa Tenggara dalam Angka". Badan Pusat Statistik Provinsi NTB. 2019.
- [6] S. Rudi. "Gempa Bumi M & 0 SR di Lombok Utara, NTB". *Magma Indonesia*, 2022. <https://magma.esdm.go.id/v1/press-release/162/gempa-bumi-m-70-sr-di-lombok-utara-ntb>
- [7] Afandi, Ridwan, "Mekanisme Gempa Pulau Lombok", *ESDM*. 2018. <https://www.esdm.go.id/en/media-center/news-archives/mengapa-terjadi-gempa-beruntun-di-lombok-ini-penjelasan>
- [8] JDIH Prov NTB, "Rencana Pembangunan Jangka Menengah Provinsi NTB tahun 2013 – 2018 BAB II". JDIH Prov NTB. 2018. https://jdih.ntbprov.go.id/sites/default/files/produk_hukum/BAB%20II.pdf
- [9] L. Iswari, "Profiling the and Temporal Properties of earthquake Occurances Using ST-DBSCAN Algorithm", *2022 IEEE 7th International Conference on Information Technology and Digital Applications (ICITDA)*, pp. 1-8, 2022.
- [10] D. J. Manalu, R. Rahmawati, and T. Widiharih, "Pengelompokan Titik Gempa di Pulau Sulawesi Menggunakan Algoritma ST-DBSCAN (Spatio Temporal-Density Based Spatial Clustering Application with Noise)", *Jurnal Gaussian*, vol. 10, no. 4, pp. 554-561, 2021.
- [11] K. B. Chimwayi and J. Anuradha, "Clustering West Nile Virus Spatio-temporal data using ST-DBSCAN", *Procedia Computer Science*, vol. 132, pp. 1218–1227, 2018. doi: 10.1016/j.procs.2018.05.037.
- [12] N. Hartanti, "Metode Elbow dan k-Means Guna Mengukur Kesiapan Siswa SMK Dalam Ujian Nasional", *Jurnal Nasional Teknologi & Sistem Informasi*, vol. 6, no. 2. 2020.
- [13] R. Rahman, R. Amalia, and A. W. Wijayanto, "Pengelompokan Data Gempa Bumi Menggunakan Algoritma DBSCAN", *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 22, no. 1. 2021.
- [14] H. Huu-Trung, P. Quoc-Viet, H. Won-Joo, "Spatial-Temporal-DBSCAN-Based User Clustering and Power Allocation for Sum Rate Maximization in Millimeter-Wave NOMA Systems", *MDPI*, 2020.
- [15] STPN, "Modul IV Jenis Data dan Struktur Data". Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional. 2016. https://prodi4.stpn.ac.id/wp-content/uploads/2020/2020/Modul/Semester%203/Modul%20SIG%20Teori%20&%20Praktik/Modul-SIG%202019%20Nuraini/Kuliah_SIG/Modul-4%20SIG.pdf .
- [16] Pertiwi, I. Indah, M. Arsyad, and P. Palloan, "Analisis Distribusi Spasial dan Temporal Seismotektonik Wilayah Sulawesi Bagian Selatan dan Barat Berdasarkan Nilai-b Dengan Metode Maksimum Likelihood", *Jurnal Fisika Universitas Negeri Makasar*, vol. 8, no. 3, 2012.
- [17] Linda, N. Ihsan, and P. Palloan, "Analisis Analisis Distribusi Spasial dan Temporal Seismotektonik Berdasarkan Nilai-b Dengan Metode Maksimum Likelihood di Pulau Jawa", *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, vol. 15, no. 1, 2019.
- [18] M. Ariandi and E. A. Agustini, "Data Spasial dan Non Spasial Penyebaran Penduduk di Kecamatan Rambutan", *SEMNASSTIKOM*. Mataram: 28 – 29 Oktober 2016. <https://journal.universitatumigora.ac.id/index.php/semnastikom2016/article/view/146>
- [19] U. Y. Purwanto, "Penggerombolan Spasial Hotspot Kebakaran Hutan dan Lahan Menggunakan DBSCAN dan ST-DBSCAN", Thesis, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, 2012. <https://123dok.com/document/9yn20j1y-spatial-hotspots-clustering-forest-land-fires-dbscan-dbscan.html>
- [20] F. Reviantika, C. N. Harahap, and Y. Azhar,

“Analsis Gempa Bumi Pada Pulau Jawa Menggunakan Clustering Algoritma K-Means”. *Jurnal Dinamika Informatika*, vol. 9, no. 1, 2020.

- [21] R. T. Vulandari, *Data Mining Teori dan Aplikasi Rapid Maner*, Yogyakarta: Gava Media. 2017.
- [22] R. Indraputra and R. Fitriana, “*K-Means Clustering Data COVID-19*”, *Jurnal Teknik Industri*, vol. 10, no. 3, pp. 283-297, 2020.
- [23] Y. Heryadi and T. Wahyono, *Machine Learning Konsep dan Implementasi*, Yogyakarta: Gava Media. 2020.
- [24] A. Murdianty and C. Sylvia, “Pengelompokkan Data Bencana Alam Berdasarkan Wilayah, Waktu, Jumlah Korban dan Kerusakan Fasilitas Dengan Algoritma K-Means”, *Jurnal Media Informatika Budidarma*, vol. 4, no. 3. 2020.
- [25] D. Suyanto, *Data Mining Untuk Klasifikasi dan Klasterisasi Data*, Bandung: Penerbit Informatika, 2019.