

Klasterisasi Wilayah Rentan Bencana Alam Berupa Gerakan Tanah Dan Gempa Bumi Di Indonesia

(Clustering Of Natural Disaster Vulnerability Areas In The Form Of Soil Movement And Earthquakes In Indonesia)

I Nyoman Setiawan^{1*}, Dewi Krismawati¹, Setia Pramana², Erwin Tanur³

¹Direktorat Analisis dan Pengembangan Statistik Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, Jakarta

²Politeknik Statistika STIS, Jakarta

³Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, Jakarta

Jl. Dr. Sutomo 6-8 Jakarta 10710 Indonesia

E-mail: nyoman.setiawan@bps.go.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan mengalami bencana alam, seperti gerakan tanah dan gempa bumi. Masyarakat Indonesia telah merasakan berbagai macam dampak yang diakibatkan oleh kejadian bencana tersebut baik berupa kehilangan pekerjaan, tempat tinggal, bahkan anggota keluarga tercinta. Namun, dampak tersebut tentu dapat diminimalisir dengan adanya manajemen bencana yang baik. Oleh karena itu, penulis berfokus pada klasterisasi wilayah rawan gerakan tanah dan gempa bumi di Indonesia menggunakan *Density-based Spatial Clustering of Application with Noise* (DBSCAN), *Common Nearest Neighbor Clustering* (CNN), dan K-Medoids. Hasil klasterisasi menunjukkan bahwa klaster rentan bencana gerakan tanah yang terbentuk dari algoritma DBSCAN berpusat pada wilayah Pulau Jawa dan Bali, serta sepanjang wilayah bagian barat Sumatera Utara hingga Lampung, sedangkan wilayah rentan bencana gempa bumi yang terbentuk dari algoritma K-Medoids tersebar pada wilayah yang dilintasi oleh cincin api pasifik.

Kata kunci: gerakan tanah, gempa bumi, dbscan, k-medoids, klasterisasi

ABSTRACT

Indonesia is one of the countries prone to natural disasters, such as soil movements and earthquakes. The people of Indonesia have felt various kinds of impacts caused by the disaster, both in the form of losing their jobs, their homes, and even their beloved family members. However, this impact can certainly be minimized with good disaster management. Therefore, the author focuses on the clustering of earthquake-prone areas in Indonesia using *Density-based Spatial Clustering of Application with Noise* (DBSCAN), *Common Nearest Neighbor Clustering* (CNN), and K-Medoids. The results of the clustering show that the soil movement-prone cluster formed from the DBSCAN algorithm is centered on the islands of Java and Bali, as well as along the western part of North Sumatra to Lampung, while the earthquake-prone areas formed from the K-Medoids algorithm are spread over the area traversed by the Pacific Ring of Fire.

Keywords: soil movement, earthquake, dbscan, k-medoids, clustering

PENDAHULUAN

Bencana alam merupakan salah satu kejadian berbahaya yang dapat terjadi pada setiap titik lokasi di muka bumi. Jenis bencana alam sangat bermacam-macam, seperti gerakan tanah, gempa bumi, tsunami, erupsi gunung api, dan lain-lain. Setiap jenis kejadian bencana alam tersebut mempunyai bahaya dan dampak yang berbeda-beda bergantung pada penyebab terjadinya bencana alam tersebut.

Kejadian bencana alam disebabkan oleh berbagai aktivitas objek alam yang bersifat destruktif di muka bumi. Dampak kejadian ini menyebabkan berbagai masalah seperti terganggunya aktivitas manusia. Selain itu, sebagian besar bencana alam menyebabkan rusaknya objek vital di daerah sekitarnya, seperti tempat tinggal, fasilitas umum, tempat kerja, dan lain-lain. Kejadian bencana alam juga berpeluang besar menyebabkan jatuhnya korban jiwa termasuk luka-luka hingga meninggal dunia. Bahaya bencana alam juga diperparah dengan waktu kejadiannya yang tak terduga atau datang secara tiba-tiba.

Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan mengalami kejadian bencana alam. Hal ini disebabkan karena wilayah Indonesia dilintasi oleh cincin api pasifik atau *ring of fire*. Keadaan tersebut menyebabkan Indonesia sering dilanda bencana alam seperti gempa bumi dan erupsi gunung api. Selain itu, kondisi topografi Indonesia terutama banyaknya daerah berkontur pegunungan menjadi salah satu faktor utama penyebab terjadinya tanah longsor (Apriyono, 2009).

Kejadian bencana alam yang terjadi di Indonesia sangat banyak jenisnya dan sudah tidak terhitung jumlah kejadiannya. Masyarakat Indonesia telah merasakan berbagai macam dampak yang diakibatkan oleh kejadian

bencana alam, seperti kehilangan pekerjaan, tempat tinggal, bahkan anggota keluarga tercinta. Namun, dampak tersebut tentu dapat diminimalisir dengan adanya manajemen bencana yang baik.

Menurut UU No. 24 Tahun 2007, manajemen bencana adalah rangkaian proses yang bersifat dinamis, berkelanjutan, dan terpadu demi ketepatan pengambilan tindakan berkualitas yang erat hubungannya dengan pengamatan kejadian secara langsung dan analisis bencana serta pencegahan, mitigasi, kesiapsiagaan, peringatan dini, penanganan darurat, rehabilitas, dan rekonstruksi bencana. Siklus manajemen bencana terbagi menjadi 4 fase, yaitu:

1. Fase Mitigasi merupakan usaha yang dilakukan untuk memperkecil dampak negatif dari bencana alam. Contoh: manajemen bangunan (*building codes*), analisis kerentanan, serta edukasi masyarakat.
2. Fase *Preparedness* merupakan rencana terkait persiapan menghadapi bencana alam. Contoh: latihan kesiagaan, keadaan darurat, dan pengadaan sistem peringatan dini bencana alam.
3. Fase Respon merupakan usaha untuk meminimalkan dampak destruktif bencana alam. Contoh: *search and rescue* (SAR).
4. Fase *Recovery* merupakan usaha untuk menormalkan kembali kegiatan masyarakat. Contoh: pembangunan rumah, bantuan finansial, serta fasilitas kesehatan.

Berdasarkan tindakan yang dapat dilakukan dalam manajemen bencana, penulis akan melakukan klusterisasi wilayah rawan bencana alam khususnya gerakan tanah dan gempa bumi di Indonesia. Wilayah rawan diidentifikasi menggunakan teknik pengelompokan berdasarkan metode klusterisasi. Tindakan ini merupakan salah satu bentuk atau upaya dalam memperkecil dampak negatif bencana alam dari sisi mitigasi. Dengan diketahuinya wilayah rawan bencana tersebut, berbagai pihak yang berhubungan dengan kebencanaan dapat mengambil tindakan lebih dini, seperti mengedukasi masyarakat yang berada di wilayah rawan bencana alam.

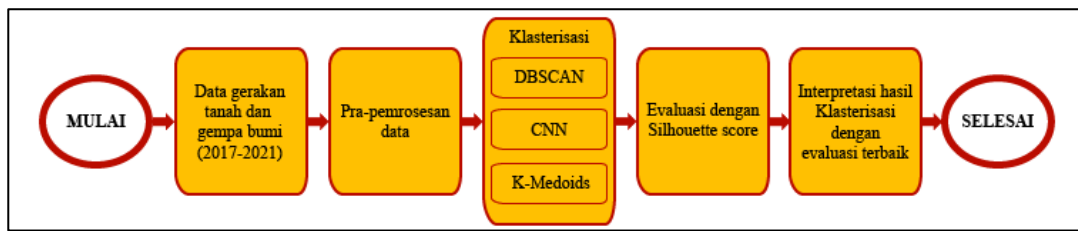
Adapun beberapa penelitian terkait dengan penelitian ini, yaitu penelitian oleh Furqon dan Muflikhah (2016) yang melakukan pengelompokan risiko tsunami menggunakan algoritma DBSCAN. Kedua, penelitian oleh Ulandari dan Kurniawan (2020) yang melakukan pemetaan daerah rawan kebakaran hutan menggunakan algoritma DBSCAN dan *Locally Scaled Density Based Clustering* (LSDBC). Ketiga, penelitian oleh Senduk, Indwiarti, dan Nhita (2019) serta Kurmiati et al. (2021) yang melakukan pengelompokan daerah rawan gempa bumi menggunakan algoritma K-Medoids. Ketiga penelitian tersebut berhubungan dengan penelitian ini, namun memiliki beberapa celah perbedaan dari sisi jenis bencana, sumber data, serta metode klusterisasi.

METODE

Dalam penelitian ini, terdapat 3 pendekatan/algoritma klusterisasi yang digunakan untuk membentuk klaster wilayah rawan bencana gerakan tanah dan gempa bumi. Pendekatan tersebut meliputi DBSCAN, CNN, dan K-Medoids. Ketiga pendekatan tersebut dipilih karena umum dan sudah digunakan dalam penelitian terkait. Selanjutnya, untuk menentukan hasil klusterisasi terbaik diantara 3 algoritma tersebut dilakukan perbandingan hasil menggunakan ukuran *silhouette score*.

A. Alur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan penentuan data gerakan tanah dan gempa bumi yang akan diklusterisasi. Seperti yang telah dijelaskan dalam poin D terkait data dan sumber data, data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data magma milik KESDM. Akan tetapi, data hasil *web scraping* tersebut tidak bisa langsung digunakan karena masih dalam bentuk laporan. Sehingga, perlu dilakukan *preprocessing data* untuk mengekstrak informasi titik koordinat lintang dan bujur yang terdapat di dalam laporan tersebut. Adapun proses ekstraksi dilakukan dengan bantuan coding sederhana menggunakan Python. Setelah data berhasil diekstrak, tahap dilanjutkan dengan pembentukan klaster menggunakan DBSCAN, CNN, dan K-Medoids. Setelah itu, hasil klusterisasi dari algoritma tersebut dievaluasi menggunakan *silhouette score*. Dari hasil evaluasi tersebut juga ditentukan hasil klusterisasi terbaik yang selanjutnya diinterpretasi lebih lanjut.



Sumber: Diolah

Gambar 1. Alur Klasterisasi

B. DBSCAN

DBSCAN merupakan salah satu algoritma klasterisasi yang mengelompokkan obyek ke dalam klaster. Algoritma ini termasuk *unsupervised learning* karena kategori atau kelas data ujinya belum diketahui (Furqon dan Muflikhah, 2016). Beberapa penelitian terkait DBSCAN diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Ulandari dan Kurniawan (2020) yang melakukan perbandingan algoritma LSDBC dan DBSCAN pada pemetaan daerah rawan kebakaran hutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa DBSCAN masih unggul dibandingkan LSDBC dalam penyelesaian studi kasus. Kemudian, penelitian Ester et al. (1996) melakukan evaluasi eksperimental efektivitas dan efisiensi DBSCAN menggunakan data sintesis dan data *benchmark* SEQUOIA 2000. Hasil penelitian menunjukkan bahwa DBSCAN lebih efektif dalam menemukan kelompok bentuk arbitrer daripada algoritma *Clustering Large Applications based on RANdomized Search* (CLARANS) dan 100 kali lebih efisien daripada algoritma tersebut.

Dalam proses pembentukan klaster, DBSCAN memanfaatkan nilai epsilon (ϵ atau jarak *density-reachable object*) dan minPts (jumlah minimal tetangga). Kedua nilai tersebut ditentukan di awal dan sangat memengaruhi klaster yang terbentuk. Secara umum, proses klasterisasi menggunakan algoritma DBSCAN adalah sebagai berikut.

1. Pemilihan acak kandidat titik pusat. Titik ini harus berada dalam jangkauan ϵ dan minimal tetangga sejumlah minPts.
2. Pengujian apakah obyek memenuhi syarat menjadi titik pusat. Apabila memenuhi syarat maka akan terbentuk klaster baru antara obyek tersebut dengan tetangganya.
3. Pengujian lanjutan terhadap objek tetangga yang dijadikan sebagai kandidat titik pusat hingga pengujian seluruh dataset selesai.
4. Obyek yang tidak layak menjadi titik pusat dikategorikan sebagai salah satu dari kategori berikut.
 - a. *Density-reachable object* yaitu obyek yang memiliki jangkauan terhadap titik pusat sebesar nilai ϵ ke bawah namun jumlah *density-reachable object* disekelilingnya bernilai kurang dari minPts.
 - b. *Noise* yaitu obyek yang memiliki jangkauan terhadap titik pusat sebesar nilai di atas ϵ dan jumlah *density-reachable object* disekelilingnya bernilai kurang dari minPts.

Umumnya, DBSCAN menggunakan fungsi *Euclidean distance* sebagai ukuran jarak untuk menentukan jangkauan antar obyek.

C. CNN

CNN adalah algoritma klasterisasi berbasis kepadatan yang menghasilkan klaster dengan *outlier*. Pengelompokan CNN bergantung pada dua parameter, yaitu radius (ϵ) dan jumlah tetangga terdekat (minPts). ϵ menentukan jangkauan titik data x yaitu semua titik data yang lebih dekat dari ϵ merupakan tetangga terdekat dari x . Dua titik data x dan y dapat dikatakan *density-reachable* jika satu sama lain berbagi setidaknya N tetangga terdekat (Lemke dan Keller, 2018). Titik-titik data yang *density-reachable* antar satu sama lain selalu berada dalam klaster yang sama.

D. K-Medoids

K-Medoids adalah metode klasterisasi non hirarki yang merupakan pengembangan dari metode K-Means. K-Medoids merupakan algoritma yang dikembangkan untuk mengatasi ketidakmampuan K-Means dalam menangani outlier (sensitif) karena suatu objek yang memiliki nilai besar kemungkinan melenceng dari distribusi data secara substansial (Jiawei dan Kamber, 2006; Arora, Deepali, dan Varshney, 2016; Senduk, Indwiarti, dan Nhita, 2019). Strategi dasar algoritma ini adalah menemukan sejumlah k kluster pada n objek terlebih dahulu yang dilakukan secara acak. Pengelompokan dilakukan berdasarkan obyek yang paling mirip dengan suatu Medoid.

Data dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data titik koordinat lintang dan bujur dari bencana gerakan tanah dan gempa bumi yang terjadi di Indonesia. Data tersebut didapatkan dari halaman web magma yang dikelola oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Data yang dikumpulkan merupakan data dari periode Januari 2017 sampai dengan Agustus 2021. Data dikumpulkan menggunakan teknik *web scraping* dengan *framework* scrapy dalam bahasa pemrograman Python.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengolahan Data

Data pada penelitian ini diolah menggunakan algoritma DBSCAN, CNN, dan K-Medoids. Terdapat dua jenis pengolahan, yaitu data per tahun dan 5 tahun terakhir. Berikut merupakan hasil pengolahan tersebut.

Tabel 1. Hasil Pengolahan Data Gerakan Tanah.

Tahun	Algoritma	Parameter		Klaster	Noise	Silhouette Score
		eps	minPts			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
2017	DBSCAN	0,32	5	6	28	0,547
	CNN	0,27	6	3	57	0,504
	K-Medoids	-	-	4	-	0,519
2018	DBSCAN	0,27	3	2	7	0,652
	CNN	0,33	1	2	8	0,566
	K-Medoids	-	-	5	-	0,425
2019	DBSCAN	0,29	5	2	20	0,492
	CNN	0,35	2	2	20	0,492
	K-Medoids	-	5	-	-	0,328
2020	DBSCAN	0,21	5	6	45	0,523
	CNN	0,31	8	6	65	0,492
	K-Medoids	-	-	7	-	0,413
2021	DBSCAN	0,28	5	6	30	0,525
	CNN	0,32	11	1	77	0,472
	K-Medoids	-	-	4	-	0,529
2017-2021	DBSCAN	0,38	37	2	207	0,611
	CNN	0,40	45	2	304	0,502
	K-Medoids	-	-	4	-	0,508

Sumber: Diolah

Berdasarkan tabel 1, sebagian besar hasil evaluasi terbaik yaitu nilai Silhouette tertinggi dihasilkan oleh hasil klusterisasi gerakan tanah menggunakan algoritma DBSCAN, kecuali pada tahun 2021. Pada tahun 2021, klusterisasi terbaik dihasilkan oleh K-Medoids, namun selisih nilai silhouette score dengan klusterisasi DBSCAN tidak terlalu jauh. Secara umum, nilai Silhouette yang dihasilkan berkisar pada nilai 0,492 ke atas. Nilai Silhouette yang semakin mendekati nilai 1 menunjukkan semakin baik hasil klusterisasi yang terbentuk. Sedangkan, nilai parameter eps dan minPts bervariasi karena bergantung pada tahun data yang diklusterisasi.

Tabel 2. Hasil Pengolahan Data Gempa Bumi.

Tahun	Algoritma	Parameter		Klaster	Noise	Silhouette Score
		eps	minPts			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
2017	DBSCAN	0,32	5	5	11	0,487
	CNN	0,32	5	7	47	0,284
	K-Medoids	-	-	4	-	0,562
2018	DBSCAN	0,32	5	7	21	0,391
	CNN	0,28	5	1	66	0,254
	K-Medoids	-	-	6	-	0,582
2019	DBSCAN	0,32	5	7	7	0,483
	CNN	0,29	5	6	67	0,192
	K-Medoids	-	-	5	-	0,533

Sumber: Diolah

Tabel 2 (Lanjutan)

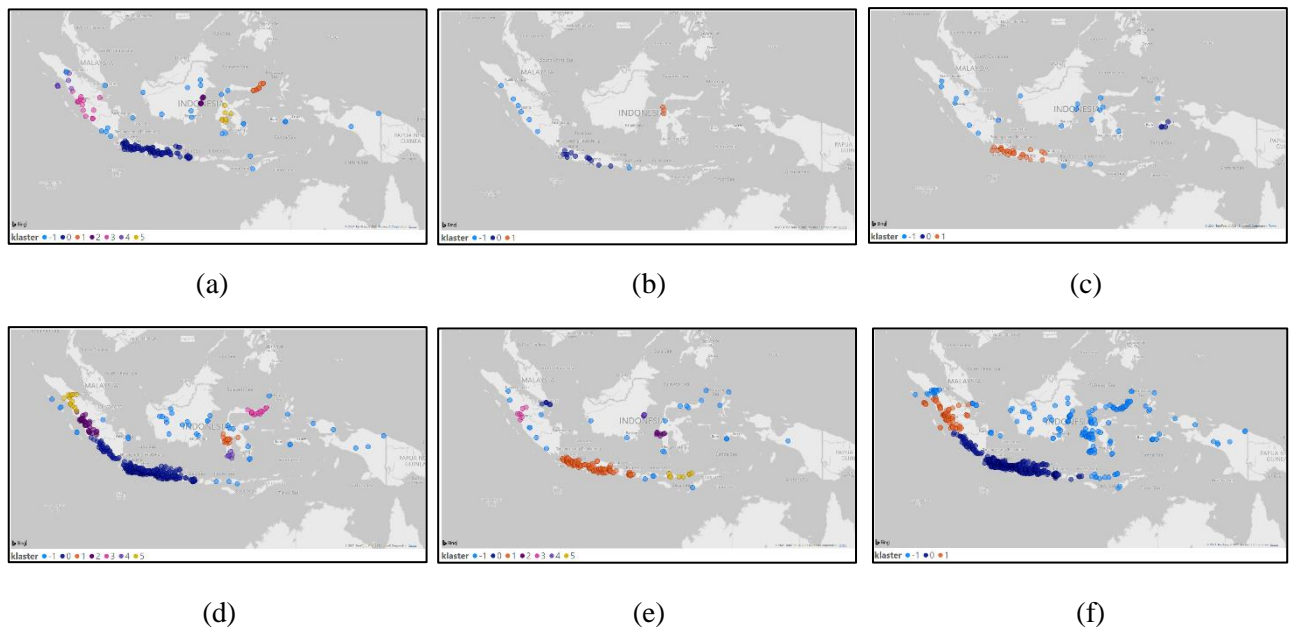
Tahun	Algoritma	Parameter		Klaster	Noise	Silhouette Score
		eps	minPts			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
2020	DBSCAN	0,31	10	5	33	0,424
	CNN	0,32	5	9	41	0,274
	K-Medoids	-	-	7	-	0,501
2021	DBSCAN	0,32	4	4	19	0,349
	CNN	0,31	2	4	26	0,214
	K-Medoids	-	-	6	-	0,540
2017-2021	DBSCAN	0,28	21	5	26	0,423
	CNN	0,40	24	5	56	0,396
	K-Medoids	-	-	6	-	0,473

Sumber: Diolah

Berbeda dengan hasil klasterisasi gerakan tanah yang lebih baik menggunakan DBSCAN, tabel 2 menunjukkan bahwa keseluruhan hasil evaluasi terbaik yaitu nilai Silhouette tertinggi dihasilkan oleh hasil klasterisasi gempa bumi menggunakan algoritma K-Medoids. Nilai Silhouette yang dihasilkan berkisar pada nilai 0,473 ke atas.

2. Hasil Klasterisasi Terbaik

Pada tahap ini akan dilakukan interpretasi terhadap wilayah di Indonesia yang mengalami kerentanan terhadap bencana alam gerakan tanah dan gempa bumi. Kerentanan akan dilihat dari hasil klasterisasi menggunakan algoritma terbaik yang divisualisasikan sehingga dapat dilihat dengan mudah persebarannya. Kemudian, tingkat kerentanan akan terlihat dari kepekatan warna klaster yang terbentuk. Semakin pekat warna dari suatu klaster maka semakin rentan wilayah tersebut mengalami bencana alam. Sedangkan warna hanya menunjukkan klaster yang berbeda. Khusus hasil klasterisasi kejadian gerakan tanah, warna biru muda merupakan noise.



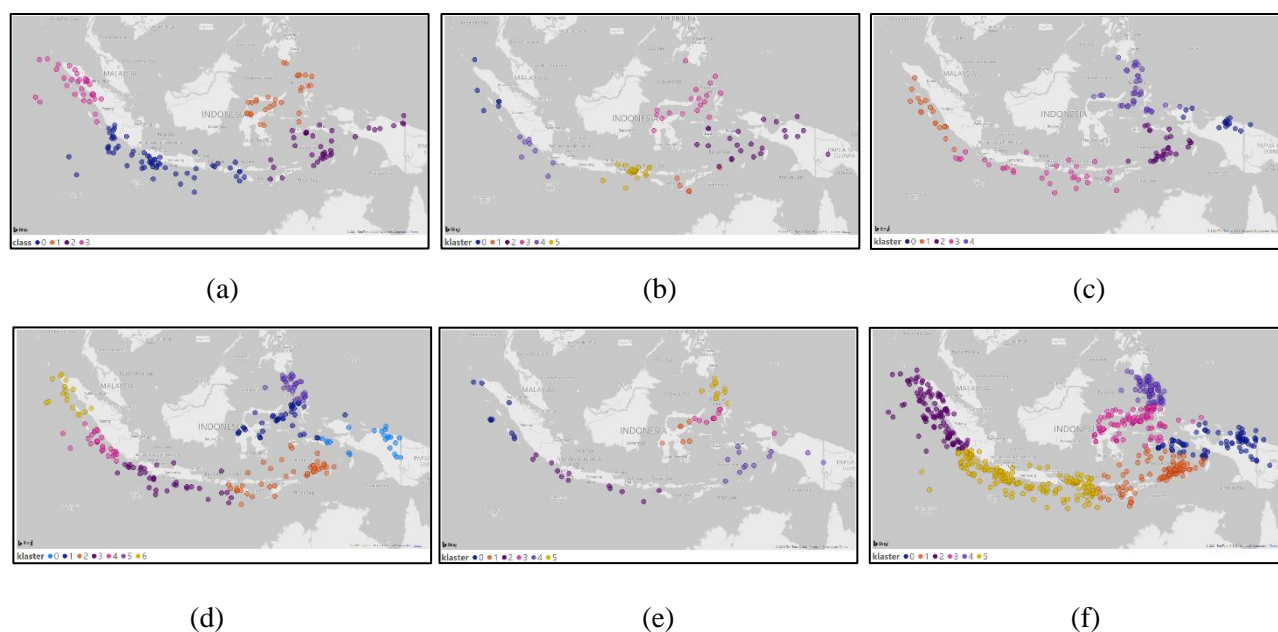
Sumber: Diolah

Gambar 2. Hasil Klasterisasi DBSCAN untuk Kejadian Gerakan Tanah

(a) 2017 (b) 2018 (c) 2019 (d) 2020 (e) 2021 (f) 2017-2021

Berdasarkan gambar 2 (a), terlihat bahwa terdapat beberapa titik kejadian gerakan tanah pada tahun 2017 yang membentuk klaster. Sepanjang Pulau Jawa dan Bali merupakan wilayah yang paling rentan terhadap gerakan tanah pada tahun tersebut. Kemudian, beberapa wilayah yang cukup rentan, yaitu Sulawesi Utara,

wilayah perbatasan antara Sulawesi Tengah-Sulawesi Barat-Sulawesi Selatan-Sulawesi Tenggara, wilayah bagian barat Bengkulu-Sumatera Barat-Sumatera Utara, dan wilayah perbatasan Kalimantan Timur-Kalimantan Selatan. Lalu, pada gambar 2 (b) terlihat bahwa terdapat sedikit titik kejadian gerakan tanah pada tahun 2018 yang membentuk klaster. Wilayah yang rentan terjadi gerakan tanah, yaitu Pulau Jawa dan Sulawesi Tengah. Kemudian, pada gambar 2 (c) terlihat bahwa terdapat sedikit titik kejadian gerakan tanah pada tahun 2019 yang membentuk klaster. Wilayah yang rentan terjadi gerakan tanah, yaitu Pulau Jawa dan Pulau Maluku. Selanjutnya, pada gambar 2 (d) terlihat bahwa terdapat cukup banyak titik kejadian gerakan tanah pada tahun 2020 yang membentuk klaster. Urutan wilayah dari yang paling rentan terhadap gerakan tanah, yaitu sepanjang Pulau Jawa dan Bali, wilayah bagian barat di sepanjang Sumatera Utara hingga Lampung, Sulawesi Utara, Sulawesi Barat, dan Sulawesi Selatan. Sedangkan, pada gambar 2 (e) terlihat bahwa terdapat beberapa titik kejadian gerakan tanah pada tahun 2021 yang membentuk klaster. Sepanjang Pulau Jawa dan Bali merupakan wilayah yang paling rentan terhadap gerakan tanah. Kemudian, beberapa titik yang rentan berada di Nusa Tenggara Timur, Kepulauan Riau, dan wilayah perbatasan Sulawesi Barat-Sulawesi Selatan, Sumatera Barat-Riau, dan Kalimantan Timur-Kalimantan Selatan. Ketika kejadian gerakan tanah diklasterisasi selama 5 tahun terakhir, terlihat dari gambar 2 (f) bahwa terbentuk 2 klaster utama gerakan tanah. Wilayah tersebut diantaranya adalah sepanjang Pulau Jawa dan Bali, serta sepanjang wilayah bagian barat Sumatera Utara hingga Lampung. Kerentanan wilayah tersebut juga terbukti dari kejadian per tahun dimana wilayahnya sering termasuk dalam klaster rentan bencana gerakan tanah.



Sumber: Diolah

Gambar 3. Hasil Klasterisasi K-Medoids untuk Kejadian Gempa Bumi

(a) 2017 (b) 2018 (c) 2019 (d) 2020 (e) 2021 (f) 2017-2021

Berbeda dengan hasil klasterisasi kejadian gerakan tanah yang mengandung noise, hasil klasterisasi kejadian gempa bumi terbagi habis menjadi beberapa klaster. Berdasarkan gambar 3 (a), terlihat bahwa secara keseluruhan terdapat 4 klaster kejadian gempa bumi pada tahun 2017. Wilayah rentan bencana gempa bumi tersebut diantaranya adalah wilayah sekitar pesisir barat Pulau Sumatera, pesisir selatan Pulau Jawa, bagian utara pulau Sulawesi, Kepulauan Maluku dan Maluku Utara, serta bagian utara Papua. Lalu, pada gambar 2 (b) terlihat bahwa secara keseluruhan terdapat 6 klaster kejadian gempa bumi pada tahun 2018. Wilayah rentan bencana gempa bumi tersebut diantaranya adalah wilayah bagian barat Sumatera Utara dan Lampung, Bali, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Tengah, perbatasan Sulawesi Utara dan Maluku Utara, Maluku, dan bagian utara Papua. Kemudian, pada gambar 2 (c) terlihat bahwa secara keseluruhan terdapat 5 klaster kejadian gempa bumi pada tahun 2019. Wilayah rentan bencana gempa bumi tersebut diantaranya adalah wilayah sekitar pesisir barat Pulau Sumatera, pesisir selatan Pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Maluku, Maluku Utara, Kepulauan di Sulawesi Utara, dan bagian utara Papua. Selanjutnya, pada gambar 2 (d) terlihat bahwa secara

keseluruhan terdapat 5 klaster kejadian gempa bumi pada tahun 2020. Wilayah rentan bencana gempa bumi tersebut diantaranya adalah wilayah sekitar pesisir barat Pulau Sumatera, pesisir selatan Pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Maluku, Maluku Utara, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, dan bagian utara Papua. Sedangkan, pada gambar 2 (e) terlihat bahwa secara keseluruhan terdapat 6 klaster kejadian gempa bumi pada tahun 2021. Wilayah rentan bencana gempa bumi tersebut diantaranya adalah wilayah bagian barat Sumatera Utara dan Lampung, Jawa Barat, Maluku Utara, Maluku, kepulauan di Sulawesi Utara. Ketika kejadian gempa bumi diklasterisasi selama 5 tahun terakhir, pada gambar 2 (f) terlihat bahwa secara keseluruhan terdapat 6 klaster kejadian gempa bumi. Pola kejadian gempa bumi ini sangat mirip dengan pola cincin api pasifik yang melewati wilayah Indonesia. Wilayah-wilayah tersebut, yaitu wilayah bagian barat Sumatera, bagian selatan Pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Maluku, Maluku Utara, Pulau Sulawesi dari bagian tengah ke utara, dan bagian utara Papua.

KESIMPULAN

Algoritma DBSCAN merupakan algoritma klasterisasi yang tepat untuk diterapkan dalam membentuk klaster rentan bencana gerakan tanah, sedangkan K-Medoids tepat untuk membentuk klaster rentan bencana gempa bumi di Indonesia. Hal tersebut ditentukan berdasarkan nilai *silhouette score* yang lebih baik dibandingkan hasil klasterisasi dengan algoritma yang lain. Secara umum, hasil klasterisasi menunjukkan bahwa wilayah yang rentan bencana gerakan tanah per tahun maupun dalam 5 tahun terakhir ini adalah sepanjang Pulau Jawa dan Bali, serta sepanjang wilayah bagian barat Sumatera Utara hingga Lampung. Sedangkan wilayah rentan bencana gempa bumi adalah wilayah yang dilintasi oleh cincin api pasifik.

Berdasarkan temuan yang ada, sebaiknya pihak yang berhubungan dengan kebencanaan melakukan edukasi terhadap masyarakat yang berada di wilayah rawan bencana. Selain itu, latihan kesiagaan, keadaan darurat, dan pengadaan sistem peringatan dini bencana alam juga perlu dilakukan sebagai bagian persiapan menghadapi bencana, khususnya gerakan tanah dan gempa bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyono, A. (2009). Analisis Penyebab Tanah Longsor di Kalitlaga Banjarnegara. *Dinamika Rekayasa*, 5, 14-18.
- Arora, P., Deepali, & Varshney, S. (2016). Analysis of K-Means and K-Medoids Algorithm For Big Data. *Procedia Computer Science*, 78, 507–512. doi:10.1016/j.procs.2016.02.095
- Ester, M., Kriegel, H-P., Sander, J., & Xu, X. (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. *KDD-96 Proceedings*, 96, 226–231.
- Furqon, M. T. & Muflikhah, L. (2016). Clustering the Potential Risk of Tsunami using Density-Based Spatial Clustering of Application with Noise (DBSCAN). *Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology*, 3, 1-8.
- Jiawei, H., & Kamber, M. (2006). *Data Mining: Concept and Techniques Second Edition*. Morgan Kaufmann.
- Kurmiati, D., Fauzi, M. Z., Ripangi, Falegas, A., & Indria. (2021). Klasterisasi Daerah Rawan Gempa Bumi di Indonesia Menggunakan Algoritma K-Medoids. *Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 1, 47-57.
- Lemke, O. & Keller, B. G. (2018). Common Nearest Neighbor Clustering—A Benchmark. *Algorithms* 2018, 11, 19. doi:10.3390/a11020019
- Senduk, R. F., Indwiarti, & Nhita, F. (2019). Clustering of Earthquake Prone Areas in Indonesia Using K-Medoids Algorithm. *Ind. Journal on Computing*, 4.
- Ulandari, F. & Kurniawan, R. (2020). Perbandingan Algoritma LSDBC dan DBSCAN pada Pemetaan Daerah Rawan Kebakaran Hutan (Studi Kasus di Pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua). *Jurnal Aplikasi Statistika dan Komputasi Statistik*, V.12.2.2020.
- RI (Republik Indonesia). (2007). Undang-Undang No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana. Lembaran Negara RI Tahun 2007, No. 66. Sekretariat Negara. Jakarta.

