

Clustering Dampak Gempa Bumi di Indonesia Menggunakan Kohonen Self Organizing Maps

Ninda Nurul Halim¹, Edy Widodo²
^{1,2} Prodi Statistika, Universitas Islam Indonesia

Email: nindanurul02@gmail.com, edywidodo@uii.ac.id

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Diterima: 15 Mei 2017
Direvisi: 1 Juni 2017
Diterbitkan: 31 Juli 2017

Keyword:

Cluster
Gempa Bumi
Internal Validation
Iterasi
Self Organizing Maps (SOM)

ABSTRAK

Indonesia merupakan wilayah yang sangat rawan bencana gempa bumi dan memiliki tingkat kegempaan tinggi. Di Indonesia gempa yang mengakibatkan kerusakan terjadi 3-5 kali dalam setahun. Oleh karena itu, penting dilakukan *clustering* pada dampak gempa di Indonesia sebagai upaya mitigasi bencana. Adanya clustering ini berguna untuk mengelompokkan gempa atas dasar karakteristik yang dimiliki. Sehingga upaya mitigasi dapat disesuaikan dengan karakteristik yang dimiliki masing-masing provinsi pada tiap *cluster*. Metode *cluster* yang digunakan adalah Kohonen *Self Organizing Map (SOM)*. *SOM* merupakan metode analisis untuk data berdimensi tinggi dan tidak diperlukan asumsi serta dapat menghasilkan visualisasi objek tersebut. Data yang digunakan adalah 14 variabel dampak gempa bumi pada 26 Provinsi di Indonesia yang mengalami gempa tahun 2000-2016 yang berasal dari publikasi DIBI BNPB. Dari data tersebut didapatkan 4 *cluster* yang masing-masing memiliki karakteristik tersendiri. Penentuan jumlah cluster dilakukan dengan melakukan validasi cluster menggunakan internal validation. Setelah dilakukan iterasi sebanyak 4000 maka terbentuk cluster 1 yang terdiri dari 2 Provinsi, cluster 2 terdapat 1 Provinsi, cluster 3 terdiri dari 2 Provinsi dan cluster 4 terdiri dari 21 Provinsi.

Copyright © 2017SIMANIS.
All rights reserved.

Korespondensi:

Ninda Nurul Halim,
Program Studi Statistika Fakultas MIPA,
Universitas Islam Indonesia,
Jl. Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta Indonesia
Email: nindanurul02@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Indonesia termasuk dalam wilayah yang sangat rawan bencana gempa bumi seperti halnya Jepang dan California, karena posisi geografisnya menempati zona tektonis yang sangat aktif [7]. Di Indonesia, gempa yang mengakibatkan kerusakan terjadi 3 sampai 5 kali dalam satu tahun [3]. Beberapa gempa bumi yang mengakibatkan kerusakan cukup besar antara lain gempa Aceh disertai tsunami tahun 2004 ($M = 9.2$), gempa Nias tahun 2005 ($M = 8.7$), gempa Yogya tahun 2006 ($M = 6.3$) dan gempa Padang tahun 2009 ($M = 7.6$). Gempa-gempa tersebut menyebabkan ribuan korban jiwa, keruntuhan dan kerusakan ribuan infrastruktur serta trilyunan rupiah untuk rehabilitasi dan rekonstruksi [7]. Dampak gempa bumi itu sendiri bergantung pada jenis gempa bumi dan besarnya gempa bumi tersebut, diantaranya dapat berupa korban meninggal, hilang, terluka, rumah rusak, fasilitas umum dan jalan umum rusak.

Terdapat beberapa analisis *clustering* gempa bumi yang pernah diteliti, diantaranya mengelompokkan gempa bumi berdasarkan parameter kedalaman dan kekuatan gempa bumi dengan metode *EM*, *KMeans*, dan *Xmeans*

cluster [10]. Selanjutnya penelitian mengenai analisis *clustering* gempa bumi selama satu bulan terakhir dengan menggunakan algoritma *Self Organizing Maps (SOM)* dengan parameter kedalaman dan kekuatan gempa bumi [1].

Berdasarkan penelitian terdahulu, peneliti akan meneliti kasus yang sama yaitu gempa bumi namun dengan parameter yang berbeda. Variabel penelitian yang digunakan adalah 14 dampak-dampak yang ditimbulkan akibat gempa bumi pada 26 provinsi di Indonesia. Penelitian ini menggunakan metode analisis *Clustering SOM*. Tujuannya adalah untuk mendapatkan *cluster* daerah yang terkena gempa bumi berdasarkan dampaknya serta mengetahui karakteristik dari tiap *cluster* yang terbentuk.

Clustering

Clustering adalah pengelompokan dari *record*, observasi-observasi atau kasus-kasus ke kelas yang memiliki kemiripan pada objek-objeknya. *Cluster* adalah koleksi dari *record* yang mirip, dan tidak mirip dengan *record* dari *cluster* lain. Algoritma-algoritma *clustering* digunakan untuk menentukan segmen keseluruhan himpunan data menjadi subgroup yang relatif sama atau *cluster* dengan kesamaan *record* dalam *cluster* dimaksimumkan dan kesamaan *record* di luar *cluster* diminimumkan [8].

Tujuan *clustering* adalah mengelompokkan obyek atas dasar karakteristik yang dimiliki. Hasil *cluster* suatu obyek harus memiliki internal (*within cluster*) homogenitas yang tinggi dan memiliki eksternal (*between cluster*) heterogenitas yang tinggi. Jika pengelompokan berhasil, maka obyek dalam satu *cluster* akan saling dekat satu sama lain jika diplot secara geometri dan *cluster* yang berbeda akan saling menjauh satu sama lain. Konsep dasar pengukuran analisis *cluster* adalah konsep pengukuran jarak (*distance*) dan kesamaan (*similarity*). Konsep pengukuran jarak adalah ukuran tentang jarak pisah antar obyek, sedangkan konsep pengukuran kesamaan adalah berbicara tentang suatu ukuran kedekatan [9]. Ada banyak ukuran jarak yang digunakan dalam analisis *cluster*. Dalam penelitian ini ukuran jarak yang digunakan adalah jarak *euclidean* kuadrat.

Jarak *euclidean* kuadrat adalah jumlah kuadrat perbedaan atau deviasi di dalam nilai untuk setiap variabel. Jarak *euclidean* adalah pengukuran jarak yang paling biasa digunakan [12].

$$d_{(ij)} = \sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \quad (1)$$

dengan,

- $d_{(ij)}$ = jarak antara objek i dan objek j
- x_{ik} = nilai objek i pada variabel ke k
- x_{jk} = nilai objek j pada variabel ke k
- p = banyak variabel yang diamati

Validasi Cluster

Validasi *cluster* adalah prosedur yang mengevaluasi hasil analisis *cluster* secara kuantitatif dan objektif. Terdapat tiga pendekatan untuk mengeksplorasi validitas cluster yaitu validasi eksternal, internal dan relatif. Dalam penelitian ini akan digunakan validasi internal, yaitu dengan menggunakan indeks *Connectivity*, *Silhouette*, dan indeks *Dunn* [6]

- a. Indeks *Connectivity*

$$Conn(C) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^L X_{i,nn(i)} \quad (2)$$

dengan,

$nn_{i(j)}$ = pengamatan tetangga terdekat (*nearest neighbor*) i ke j dan L

$nn_{i(j)}$ sebagai parameter yang menentukan jumlah tetangga yang berkontribusi pada pengukuran *connectivity* [5].

- b. Indeks *Silhouette*

Indeks *Silhouette* dihitung sebagai derajat kepercayaan dalam proses *clustering* pada suatu pengamatan dengan *cluster* yang dikatakan terbentuk baik bila nilai indeks mendekati 1 dan kondisi sebaliknya jika nilai indeks mendekati angka -1 [5].

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max(a(i), b(i))} \quad (3)$$

dengan,

$a(i)$ = jarak rata-rata antara i dan seluruh pengamatan lainnya pada *cluster* yang sama

$b(i)$ = jarak rata-rata antara i dengan pengamatan pada *cluster* terdekat.

- c. Indeks *Dunn*

Indeks *Dunn* adalah rasio jarak terkecil antara observasi pada *cluster* yang berbeda dengan jarak terbesar pada masing-masing *cluster* data [5].

Indeks *Dunn* diperoleh dari hasil pembagian antara d_{min} dengan d_{max}

$$C = \frac{d_{min}}{d_{max}} \quad (4)$$

dengan,

d_{\min} = jarak terkecil antara observasi pada *cluster* yang berbeda
 d_{\max} = jarak terbesar pada masing-masing *cluster* data

Self Organizing Maps (SOM)

Jaringan Kohonen SOM diperkenalkan pada tahun 1982 oleh peneliti Finlandia yaitu Tuevo Kohonen [8]. Kohonen SOM merupakan suatu jaringan yang tidak membutuhkan suatu pengawasan khusus, karenanya diberi nama *self organizing*. Kata *maps* berarti bahwa metode ini menggunakan *map* dalam pembobotan input data. Tiap *node* dalam jaringan SOM berusaha untuk menjadi seperti input yang telah diberikan pada jaringan tersebut. SOM juga biasa disebut dengan *Self Organizing Feature Maps*, maksudnya adalah bahwa SOM menggunakan prinsip “*feature*” atau ciri khusus dalam prinsip dasarnya yang membuatnya berbeda dibandingkan metode yang lain [2].

Terdapat tiga komponen penting dalam SOM [4], yaitu:

1. *Competition*. Pada tahap ini untuk setiap pola input, neuron menghitung nilai masing-masing fungsi diskriminan yang memberi dasar untuk kompetisi. Neuron tertentu dengan nilai terkecil dari fungsi diskriminan dinyatakan sebagai pemenang (*winning neuron*).
2. *Cooperation*. *Winning neuron* menentukan lokasi spasial dari lingkungan topologi *excited neuron* untuk memberi dasar kerjasama dalam suatu lingkungan neuron.
3. *Synaptic Adaption: Excited neuron* menurunkan nilai fungsi diskriminan yang berkaitan dengan pola input melalui penyesuaian bobot terkait sehingga respon dari neuron pemenang keaplikasi berikutnya dengan pola input yang sama akan meningkat.

Tahapan Kohonen SOM

Tahapan-tahapan dalam analisis clustering menggunakan SOM adalah seperti berikut.

1. Inisialisasi berupa bobot (w_{ij}) yang diperoleh secara acak untuk tiap node. Setelah bobot (w_{ij}) diberikan maka jaringan diberikan *input* (x_i).
2. Setelah *input* diterima jaringan akan melakukan perhitungan jarak *vector* $d_{(j)}$ yang didapat dengan menjumlahkan selisih antara vektor bobot (w_{ij}) dengan vektor *input* (x_i).

$$d_j = \sum_i (w_{ij} - x_i)^2 \quad (5)$$
3. Setelah jarak antara node diketahui maka ditentukan nilai minimum dari perhitungan jarak vektor $D_{(j)}$, maka tahap selanjutnya melakukan perubahan bobot.

$$w_{ij}(\text{new}) = w_{ij}(\text{old}) + \alpha [x_i - w_{ij}(\text{old})] \quad (6)$$
4. Pada proses untuk mendapatkan bobot baru memerlukan nilai *learning rate* (α) yaitu $0 \leq \alpha \leq 1$. Nilai *learning rate* pada setiap *epoch* akan berkurang menjadi $\alpha(i+1) = 0,5\alpha$.
5. Kondisi penghentian pengujian dilakukan dengan menghitung selisih antara bobot $w_{ij}(\text{new})$ dengan $w_{ij}(\text{old})$, apabila nilai w_{ij} hanya berubah sedikit saja, berarti pengujian sudah mencapai konvergensi sehingga dapat dihentikan.

Gempa Bumi

Gempa bumi adalah suatu peristiwa pelepasan energi gelombang *seismic* yang terjadi secara tiba-tiba. Pelepasan energi ini diakibatkan karena adanya deformasi lempeng tektonik yang terjadi pada kerak bumi. Di Indonesia, gempa yang mengakibatkan kerusakan terjadi 3 sampai 5 kali dalam satu tahun [3].

Menurut proses terjadinya gempa terbagi atas gempa tektonik, gempa vulkanik, gempa runtuh atau longsoran, gempa jatuhnya dan gempa buatan. Namun yang sering kali terjadi di Indonesia adalah gempa tektonik dan vulkanik. Gempa tektonik adalah gempa yang terjadi akibat adanya tumbukan lempeng-lempeng di lapisan litosfer kulit bumi oleh tenaga tektonik. Sedangkan gempa vulkanik adalah gempa yang terjadi akibat aktivitas gunung berapi. Gempa ini hanya dapat dirasakan disekitar gunung berapi saat akan meletus, saat meletus, dan setelah terjadi letusan [3].

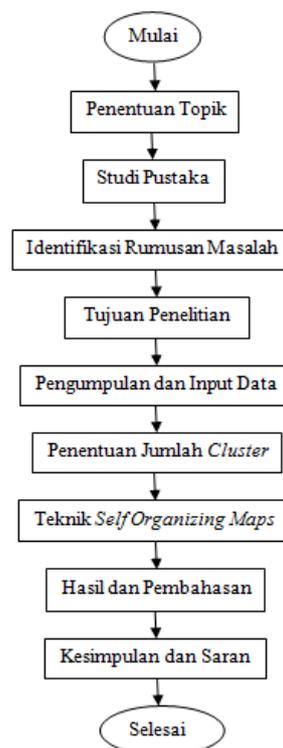
Gempa tentu saja memiliki dampak bagi mahluk hidup maupun lingkungan di sekitarnya. Berdasarkan jenis gempa bumi, dampak gempa bumi dibagi menjadi dua yaitu dampak gempa vulkanik dan dampak gempa tektonik [3].

- a. Dampak Gempa Tektonik
Dampak gempa tektonik ini terbagi menjadi dua yaitu dampak primer dan sekunder. Dampak primer yaitu dampak yang diakibatkan oleh getaran gempa itu sendiri, seperti korban jiwa, rusaknya bangunan dan infrastruktur, dan kerugian harta benda lainnya. Sedangkan dampak sekunder yaitu dampak lain setelah gempa itu terjadi, seperti terjadi tsunami, tanah longsor, kebakaran dan penyakit yang menyebar.
- b. Dampak Gempa Vulkanik
Gempa vulkanik yang diakibatkan adanya gunung meletus dapat menimbulkan dua jenis bahaya, yaitu dampak adanya lava, lahar dan lontaran material serta dampak adanya abu letusan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari publikasi *website* Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI) BNPB. Sampel pada penelitian ini yaitu 26 Provinsi di Indonesia yang mengalami gempa bumi Tahun 2000-2016. Variabel yang digunakan adalah jumlah kejadian gempa bumi (X_1), korban meninggal (X_2), korban hilang (X_3), korban terluka (X_4), korban menderita (X_5), korban mengungsi (X_6), jumlah Rumah Rusak Berat (RRB) (X_7), jumlah Rumah Rusak Sedang (RRS) (X_8), jumlah Rumah Rusak Ringan (RRR) (X_9), jumlah fasilitas peribadatan rusak (X_{10}), jumlah fasilitas pendidikan rusak (X_{11}), jumlah fasilitas kesehatan rusak (X_{12}), kerusakan jalan (X_{13}), dan kerusakan lahan (X_{14}).

Metode analisis data yang digunakan yaitu analisis *Self Organizing Maps (SOM)*, karena *SOM* merupakan metode analisis untuk data berdimensi tinggi dan tidak diperlukan asumsi serta dapat menghasilkan visualisasi objek tersebut. Berikut diagram alur dalam penelitian ini.



Gambar 2.1 Diagram Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan analisis *clustering SOM*, dilakukan terlebih dahulu uji validitas *cluster* guna mengetahui jumlah *cluster* terbaik yang akan digunakan. Uji validitas *cluster* yang digunakan adalah uji validasi internal dengan menggunakan indeks *Dunn*, *Sillhouette*, dan *Connectivity*. Jumlah *cluster* yang akan diambil adalah jumlah *cluster* dengan nilai Indeks *Dunn* mendekati 1, nilai *Sillhouette* paling besar dan nilai *Connectivity* paling kecil, seperti pada gambar 3.1. Proses pengerjaan analisis *cluster SOM* dan validasi *cluster* dikerjakan dengan bantuan *software R*.

```
> summary(clust_valid)

Clustering Methods:
  som

Cluster sizes:
 4 5 6 7 8

Validation Measures:

                                4      5      6      7      8

som Connectivity 11.0738      NA 19.0651 23.5774      NA
  Dunn          0.3200      NA 0.1460 0.1545      NA
  Silhouette    0.7623      NA 0.5383 0.4844      NA

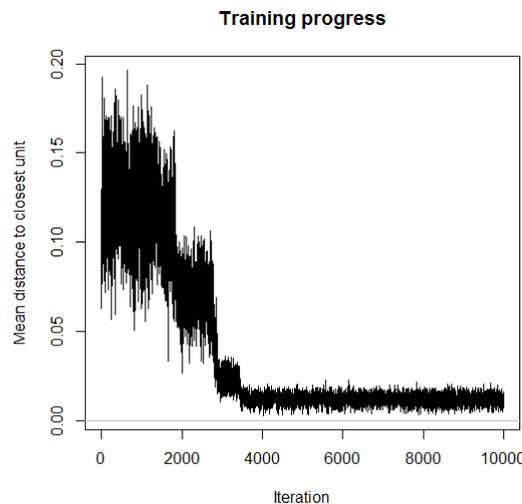
Optimal Scores:

      Score  Method Clusters
Connectivity 11.0738 som      4
Dunn          0.3200 som      4
Silhouette    0.7623 som      4
```

Gambar 3.1 Cluster Validation

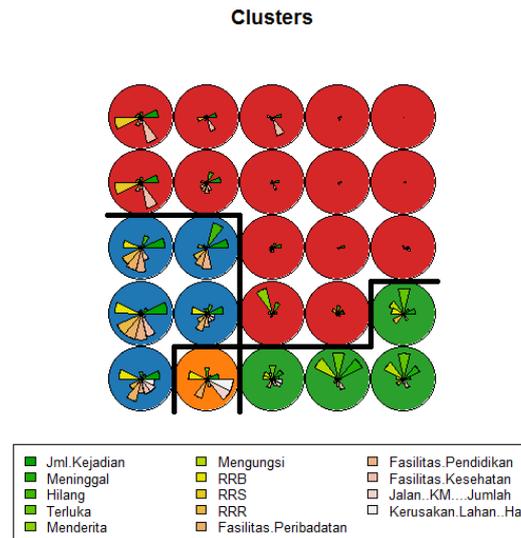
Berdasarkan gambar 3.1 terlihat bahwa nilai Indeks *Dunn* yang mendekati 1 adalah 0,32 yaitu pada *cluster* 4, nilai *Sillhoutte* paling besar adalah 0,7623 pada *cluster* 4 dan nilai *Connectivity* paling kecil adalah 11,0738 yang juga terdapat pada *cluster* 4. Karena hasil validasi *cluster* menunjukkan bahwa *cluster* 4 lah yang terbaik, maka peneliti menggunakan jumlah *cluster* 4 dalam teknik *clustering* pada gempa bumi di Indonesia rentang tahun 2000-2016.

Untuk mendapatkan *cluster* daerah yang terkena gempa bumi di Indonesia tahun 2000-2016 dan mengetahui karakteristik dari tiap *cluster* digunakan analisis *clustering SOM*. Jaringan Kohonen digunakan untuk membagi pola masukan kedalam beberapa *cluster*. Misalkan masukan berupa vektor yang terdiri dari n komponen yang akan dikelompokkan dalam maksimum m buah kelompok. Jaringan *SOM* membutuhkan suatu *training progress* untuk meminimalisir rata-rata jarak suatu objek ke unit terdekat [13].



Gambar 3.2 Training Progress

Gambar 3.2 menjelaskan banyaknya *training progress* yang menunjukkan banyaknya iterasi terhadap jarak rata-rata ke unit terdekat. Proses iterasi pada penelitian ini akan dihentikan setelah dilakukan 10000 kali iterasi, dimana terlihat pada iterasi 4000 ke atas menunjukkan proses iterasi yang konvergen. Pada gambar di atas menjelaskan semakin banyak iterasi yang dilakukan maka *mean of distance cluster unit* semakin kecil sehingga hasil *clustering* akan semakin baik. *Training progress* mulai stabil dengan *mean of distance cluster unit* dibawah nilai 0,05. Dalam proses algoritma *SOM* menghasilkan suatu *SOM Model* dengan menggunakan program *R* akan menghasilkan *fan* diagram atau diagram kipas seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Output Program R Terhadap Diagram Kipas

Peneliti menggunakan tampilan *rectangular* dengan *grid* 5 x 5. Diagram kipas tersebut menunjukkan distribusi dari variabel pada peta. Proses memahami diagram dalam algoritma *SOM* adalah ketika diagram telah memiliki suatu warna dan diberi batasan dengan vektor-vektor yang tervisualisasi dalam plot pemetaan [13], seperti pada gambar 3.3. Dari gambar tersebut terlihat bahwa terbentuk 4 *cluster* yang diwakili oleh 4 warna yang berbeda. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat tabel 3.1 yaitu *cluster* yang terbentuk dan karakteristik dari tiap *cluster* tersebut.

Tabel 3.1 Jumlah dan Anggota *Cluster* menggunakan Metode *SOM*

Cluster	Jumlah Anggota	Anggota Cluster
1	2	Sumatera Barat dan Jawa Barat
2	1	Sumatera Utara
3	2	Jawa Tengah dan DI Yogyakarta
4	21	Aceh, Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Bengkulu, Jawa Timur, Banten, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Kalimantan Timur, Kalimantan Utara, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Gorontalo, Sulawesi Barat, Maluku, Papua, Maluku Utara, dan Papua Barat

Dari tabel 3.1 diketahui bahwa *cluster 1* yang terdiri dari Provinsi Sumatera Barat dan Jawa Barat diasosiasikan dalam lingkaran berwarna biru, *cluster 2* yaitu Sumatera Utara dalam lingkaran berwarna orange. Kemudian *cluster 3* yang terdiri dari Jawa Tengah dan DI Yogyakarta diasosiasikan dalam lingkaran yang berwarna hijau, dan untuk *cluster 4* yang terdiri dari 21 Provinsi tersebut diasosiasikan kedalam lingkaran berwarna merah.

Dalam melakukan profilisasi, data dikembalikan seperti sebelum dilakukan standarisasi dan harus dilakukan rata-rata untuk masing-masing *cluster* [11]. Berikut profilisasi untuk masing-masing *cluster* yang terbentuk berdasarkan 14 variabel yang digunakan.

Tabel 3.2 Profilisasi *Cluster*

Variabel	Rata-rata			
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
Jumlah Kejadian Gempa (X1)	51	27	16	10
Korban Meninggal (X2)	684	859	2.845	34
Korban Hilang (X3)	22	1	0	1
Korban Terluka (X4)	2.027	8.265	18.881	417
Korban Menderita (X5)	3.200	0	19	11.754
Korban Mengungsi (X6)	172.426	30.576	998.179	18.285
Variabel	Rata-rata			

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
Jumlah RRB (X7)	46.277	48.130	21.853	2.795
Jumlah RRS (X8)	523	249	9	414
Jumlah RRR (X9)	105.446	2.408	45.415	2.705
Jumlah Fasilitas Peribadatan Rusak (X10)	2.475	2.166	133	92
Jumlah Fasilitas Pendidikan Rusak (X11)	6.412	908	1.265	187
Jumlah Fasilitas Kesehatan Rusak (X12)	208	135	154	54
Kerusakan Jalan (X13)	148	1.650	0	7
Kerusakan Lahan (X14)	0	1.968	0	29

Dari tabel 3.2 tersebut terlihat bahwa *cluster* 1 memiliki jumlah kejadian dan bangunan yang rusak paling banyak. Pada *cluster* 2 terdapat banyak kerusakan jalan dan lahan. Selanjutnya pada *cluster* 3 banyak korban yang terluka, mengungsi, bahkan korban meninggal juga banyak dalam terjadi dalam *cluster* ini. Sedangkan pada *cluster* 4 cukup banyak korban yang menderita.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan rumusan masalah maka diperoleh kesimpulan bahwa:

- Berdasarkan indeks *Dunn*, *Sillhouette*, dan *Connectivity* didapatkan jumlah *cluster* terbaik adalah 4 *cluster*. Pada *cluster* 1 terdapat 2 Provinsi yaitu Sumatera Barat dan Jawa Barat. *Cluster* 2 hanya Provinsi Sumatera Utara. *Cluster* 3 yaitu Jawa Tengah dan DIY. Sedangkan *cluster* 4 terdapat 21 Provinsi seperti terlihat pada tabel 3.1.
- Karakteristik *cluster* 1 adalah pada jumlah kejadian gempa paling banyak dan jumlah bangunan yang rusak juga paling banyak di antara *cluster* lainnya. Pada *cluster* 2 karakteristik yang menonjol adalah banyaknya jalan dan lahan yang rusak. Pada *cluster* 3 terdapat banyak korban yang meninggal, terluka dan mengungsi. Pada *cluster* 4 karakteristik yang sangat terlihat adalah banyaknya korban yang menderita pada *cluster* ini.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya sehingga penelitian yang berjudul “*Clustering Dampak Gempa Bumi di Indonesia Menggunakan Kohonen Self Organizing Maps (SOM)*” dapat diselesaikan. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW serta para sahabat dan pengikutnya sampai akhir jaman.

Penelitian ini dapat diselesaikan tidak terlepas dari bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini peneliti ingin mengucapkan terima kasih atas segala bantuan, bimbingan dan pengajaran yang telah diberikan. Peneliti menyadari akan keterbatasan kemampuan dalam menyelesaikan penelitian, oleh karena itu peneliti mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan penyusunan penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti. 2015. *Jurnal Analisis Clustering Gempa Bumi Selama Satu Bulan Terakhir dengan Menggunakan SOM Kohonen*.
- Guthikonda. 2005. *Kohonen Self Organizing Maps*.
- Hartuti. 2009. *Buku Pintar Gempa*. Yogyakarta: Diva Press.
- Haykin. 1999. *Neural Network-A Comprehensive Foundation*. Singapore: Pearson Education.
- Irwansyah dan Faisal. 2015. *Advanced Clustering Tori dan Aplikasi*.
- Jain dan Dubes. 1988. *Algorithm for Clustering Data*.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 Sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa*. Jakarta.
- Larose. 2005. *Discovering Knowledge in Data*. USA: A John Wiley & Sons, Inc Publication.
- Muthiah. 2013. *Algoritma Self Organizing Maps (SOM)*. Diunduh 17 Februari 2017.
- Pebrina, Heru, dan Sugihartono. *Jurnal: Identifikasi Penyebaran Gempa di Indonesia dengan Metode Clustering*.
- Pratama. 2015. *Skripsi: Perbandingan Hasil Pengelompokan Menggunakan Algoritma K-Means dan SOM*.
- Supranto. 2004. *Analisis Multivariat Arti dan Interpretasi*. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Wehrens dan Buydens. 2007. *Jurnal: Self and Super-Organizing Maps in R: The Kohonen Package*.