



---

**Penentuan Tingkat Kerawanan Gempa Bumi di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Metode Sugeno Orde Nol**

*Determining The Level of Earthquake Hazard in The Special Region of Yogyakarta using The Zero Order Sugeno Method*

Nurul Wahyuningsih, Prodi Matematika FMIPA UNY  
Agus Maman Abadi\*, Prodi Matematika FMIPA UNY  
\*e-mail: [agusmaman@uny.ac.id](mailto:agusmaman@uny.ac.id)

**Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kerawanan gempa di Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan salah satu metode pada fuzzy yaitu metode Sugeno orde nol. Data yang digunakan untuk melakukan penelitian ini ada tiga variabel, yaitu: Kedalaman Gempa Bumi, Kekuatan Gempa Bumi, dan Jarak Gempa Bumi. Penulis mendapatkan data gempa berupa tiga variabel tersebut dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Yogyakarta. Data gempa bumi yang digunakan merupakan data gempa bumi di Yogyakarta pada tahun 2014 sampai dengan 2016 atau selama 6 tahun. Banyak data gempa bumi yang digunakan untuk penelitian sebanyak 300 data yang kemudian 225 data dikategorikan sebagai data training dan 72 data dikategorikan sebagai data testing. Hasil penelitian diperoleh nilai MAPE sebesar 3,5493% untuk data training dan 1,2731% untuk data testing, sehingga diketahui akurasi data training adalah 96,4506% dan akurasi data testing sebesar 98,7268%.

**Kata kunci:** gempa bumi, *fuzzy*, sugeno orde nol.

**Abstract**

*This study aims to determine the level of earthquake hazard in the Special Region of Yogyakarta. This research was conducted using one of the fuzzy methods, namely the zero order Sugeno method. The data used to conduct this research are three variables, namely: Earthquake Depth, Earthquake Strength, and Earthquake Distance. The author obtained earthquake data in the form of these three variables from the Yogyakarta Meteorology, Climatology and Geophysics Agency (BMKG). The earthquake data used is earthquake data in Yogyakarta from 2014 to 2016 or for 6 years. A lot of earthquake data used for research is 300 data, then 225 data are categorized as training data and 72 data are categorized as testing data. The research results obtained MAPE values of 3.5493% for training data and 1.2731% for data testing, so that it is known that the accuracy of training data is 96.4506% and the accuracy of data testing is 98.7268%.*

**Keywords:** earthquake, *fuzzy*, the zero order sugeno.

## PENDAHULUAN

Secara geografis Provinsi Yogyakarta terletak di tengah-tengah Pulau Jawa, dimana dengan bentuk peta Provinsi Yogyakarta menyerupai segitiga dengan puncak Gunung Merapi di bagian utara yang mempunyai ketinggian 2.911 m di atas permukaan air laut. Terdapat dataran pantai yang membentang sepanjang Pantai Selatan yang terletak di pinggiran Samudera Indonesia (Edy Susanto, 2019).

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) memiliki luas 3.185,80 km<sup>2</sup> dengan perbatasan wilayah dari arah Timur: Kabupaten Wonogiri di Provinsi Jawa Tengah, arah Barat: Kabupaten Purworejo di Provinsi Jawa Tengah, arah Utara: Provinsi Jawa Tengah dan arah Selatan: Samudra Hindia. Dengan letak geografis 7033' – 8012' lintang selatan dan 110000' – 110050' bujur timur (Iii &, 2006).

Kota Yogyakarta dan sekitarnya, merupakan salah satu wilayah rawan gempa bumi. Pada tanggal 27 Mei 2006 terjadi gempa bumi di Yogyakarta dan sekitarnya. Gempa tersebut memakan korban lebih dari 1.000 jiwa (Mitigasi et al, 2016). Dengan Sejarah mencatat sedikitnya empat kali gempa bumi merusak terjadi di wilayah Yogyakarta, yaitu tahun 1867, 1943, 1981, dan 2006 (Studi et al, 2008). Dari data tersebut dapat dilihat bahwa daerah Yogyakarta merupakan daerah yang sering terjadi bencana alam gempa bumi.

Menurut peta ancaman bencana DIY, setidaknya DIY memiliki 10 potensi ancaman bencana. Ancaman bencana di DIY yaitu letusan gunung api, tanah longsor dan erosi, banjir, tsunami, gelombang pasang/abrasi, gempa bumi, kekeringan, epidemik dan wabah penyakit, kegagalan teknologi serta cuaca ekstrim. Secara geologis, DIY terletak pada cekungan yang sudah terisi oleh material vulkanik gunung api (Mujiatun, 2017). Hal ini menunjukkan bahwa DIY menjadi salah satu Provinsi di Indonesia yang memiliki tingkat ancaman bencana yang terbilang tinggi.

Berdasarkan data United States Geological Survey (USGS) yang disusun ulang oleh (Marsell, 2016) bahwa gempa bumi yang terjadi pada tanggal 27 Mei 2006 dengan magnitudo 6,3 SR yang mengguncang Daerah Istimewa Yogyakarta telah menyebabkan kerusakan dan jatuhnya korban jiwa yaitu sekitar 6.000 orang meninggal dan 38.000 luka-luka serta 140.000 rumah roboh dan 190.000 rumah rusak berat. Secara administratif gempa bumi tersebut terletak di Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul.

Gempa bumi jika dilihat berdasarkan penyebabnya terdiri atas dua jenis yaitu gempa tektonik dan gempa vulkanik. Gempa bumi tektonik adalah gempa bumi yang disebabkan oleh pelepasan energi elastis yang tersimpan dalam lempeng tektonik sedangkan gempa bumi vulkanik adalah gempa bumi yang disebabkan oleh kegiatan gunung api. Gempa bumi tektonik terjadi karena adanya dinamika yang terjadi pada lapisan mantel bumi, lempeng tektonik bumi terus menerima energi dari lapisan tersebut. Lempeng tektonik merupakan batuan yang bersifat elastis, sehingga energi yang diterima dari lapisan mantel tersimpan dalam bentuk energi elastis (Sunarjo, Gunawan, & Pribadi, 2012). Gempa bumi vulkanik merupakan gempa bumi yang disebabkan oleh kegiatan gunung api. Magma yang berada pada kantong di bawah gunung api mendapat tekanan dan melepaskan energinya secara tiba-tiba sehingga menimbulkan getaran tanah. (Sunarjo, Gunawan, & Pribadi, 2012). Pada penelitian ini, penulis akan berfokus pada gempa bumi tektonik yaitu gempa bumi yang terjadi karena pelepasan energi elastis yang tersimpan pada lempeng tektonik.

Kepulauan Indonesia terletak pada pertemuan 3 lempeng utama dunia yaitu lempeng Australia, Eurasia, dan Pasifik. Lempeng Eurasia dan Australia bertumbukan di lepas pantai barat Pulau Sumatera, lepas pantai selatan pulau Jawa, lepas pantai selatan kepulauan Nusantara, dan berbelok ke arah utara ke perairan Maluku sebelah selatan. Antara lempeng Australia dan Pasifik terjadi tumbukan di sekitar Pulau Papua. Sementara pertemuan antara ketiga lempeng itu terjadi di sekitar Sulawesi (Murtianto, 2016). Hal itulah yang menjadi penyebab mengapa di pulau-pulau sekitar pertemuan 3 lempeng itu sering terjadi gempa bumi,

salah satunya di lepas pantai selatan pulau Jawa. Hal ini menjadi salah satu penyebab gempa bumi terjadi di Provinsi Yogyakarta. Oleh karena itu, penelitian terhadap tingkat kerawanan gempa di Daerah Istimewa Yogyakarta dilakukan oleh penulis guna mengetahui seberapa rawan gempa bumi di Daerah Istimewa Yogyakarta.

Secara umum karakteristik gempa bumi terdiri atas waktu kejadian gempa bumi (durasi berlangsungnya gempa), lokasi pusat gempa, kedalaman sumber gempa bumi, kekuatan atau magnitudo gempa bumi (skala richter) dan intensitas gempa bumi (MMI) (Harjadi & dkk, 2007).

Suatu daerah dapat dikatakan rawan bencana gempa bumi dapat dilihat dari 4 aspek yaitu aspek Kerentanan Sosial, aspek Kerentanan Fisik dan aspek Kerentanan Ekonomi (Amri, Yulianti, & Yunus, 2018) serta menurut Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) ada aspek Geologi beserta pengalaman gempa yang sudah pernah terjadi di suatu daerah.

Pada kesempatan kali ini, penulis akan berfokus pada aspek Geologi. Variabel untuk aspek Geologi meliputi Kekuatan Gempa (*Magnitude*), Kedalaman Gempa (*Deep*), Intensitas Gempa. Dari kriteria tersebut dan melalui data setelah diolah akan dapat ditentukan daerah rawan bencana gempa di Daerah Istimewa Yogyakarta sehingga dapat dipergunakan sebagai salah satu upaya mitigasi bencana gempa bumi khususnya di Daerah Istimewa Yogyakarta.

Berikut beberapa judul penelitian yang mendekati sama dengan penelitian yang akan dilakukan. Pemetaan Tingkat Resiko Gempa Bumi di Sekitar Wilayah Jayapura Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor (Lunga, Minarto, & Mantiri, 2015), Penentuan Zona Kerentanan Bencana Gempa Bumi Tektonik di Kabupaten Malang Wilayah Selatan (Irijaya & Pamungkas, 2014). Pemetaan Lokasi Kerawanan Bencana Gempa di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Menggunakan Metode *Fuzzy Simple Additive Weighting* (Eko, 2019).

## **METODE**

Penelitian ini bisa dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, beberapa diantaranya yaitu: metode mamdani, metode sugeno orde nol, dan juga metode sugeno orde satu. Metode Mamdani sering juga dikenal dengan nama Metode Max-Min. Untuk mendapatkan output, diperlukan empat tahapan (Rizky Pahlevi, et al. (2013): Pembentukan Himpunan *fuzzy* yang akan membagi variabel input maupun output kedalam satu atau lebih himpunan *fuzzy* (*fuzzyfikasi*), penerapan fungsi implikasi yang menggunakan fungsi min, komposisi aturan, dan proses *defuzzyfikasi*. Metode Mamdani mudah diaplikasikan tanpa terlalu banyak informasi awal dari sistem. Metode ini juga sederhana dan mudah untuk sistem yang bersifat sangat non linier. Kelemahan metode Mamdani yaitu tidak dapat membedakan informasi spesifik dari ruang input dan membutuhkan aturan antiseden yang menjangkau semua ruang input. Dikarenakan hal ini penulis tidak menggunakan metode Mamdani untuk melakukan penelitian yang sedang penulis lakukan.

Metode Sugeno memiliki keluaran sistem berupa konstanta atau persamaan linear. Metode ini diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985. Apabila komposisi aturan menggunakan metode Sugeno, maka defuzzifikasi dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya (Kusumadewi 2010). Kelebihan dari logika fuzzy Sugeno adalah dengan orde nol seringkali sesuai untuk berbagai kebutuhan permodelan. Rule IF-THEN pada metode fuzzy Sugeno terdapat pada Persamaan (Oktavia, C. A., & Maulidi, R 2019). Hal ini yang menjadi dasar penulis melakukan penelitian dengan menggunakan metode sugeno orde nol. Metode Sugeno membutuhkan estimasi dari parameter yang terdapat pada data. Keunggulannya metode ini yaitu sangat mudah digunakan untuk berbagai teknik analisis stabilitas. Metode Sugeno melakukan komputasi yang efisien dan bekerja dengan baik untuk optimasi dan teknik adaptif, yang membuatnya sangat menarik pada masalah kontrol, terutama untuk sistem nonlinear

dinamis. Teknik-teknik adaptif dapat digunakan untuk menyesuaikan fungsi keanggotaan sehingga sistem fuzzy terbaik memodelkan data (Kaur, A. & Kaur, A. (2012)), sehingga penulis menggunakan metode Sugeno untuk menyelesaikan penelitian yang dikerjakan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Pemilihan Lokasi Gempa di DIY

Pada penelitian ini dipilih lokasi gempa di Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi yang diteliti sampai pada tingkat Kecamatan dan tidak sampai pada tingkat Desa. Total Kecamatan yang ada di Daerah Istimewa Yogyakarta ada 78 Kecamatan yang tersebar di 4 Kabupaten dan 1 Kota. Kabupaten dan Kota yang ada di Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu:

- a. Kabupaten Bantul terdiri dari 17 Kecamatan
- b. Kabupaten Gunung Kidul terdiri dari 18 Kecamatan
- c. Kabupaten Kulon Progo terdiri dari 12 Kecamatan
- d. Kabupaten Sleman terdiri dari 17 Kecamatan
- e. Kota Yogyakarta terdiri dari 14 Kecamatan

### 2. Menentukan Variabel Input

Daerah rawan gempa ditentukan menggunakan system *fuzzy* dengan beberapa variabel input. Variabel input ditentukan berdasarkan data gempa dari BMKG Yogyakarta selama 6 tahun dari tahun 2014 sampai tahun 2019. Variabel input yang digunakan untuk penelitian ini yaitu:

- a. Kedalaman Gempa
- b. Kekuatan Gempa
- c. Jarak Gempa

Jarak gempa dihitung dari titik pusat gempa menuju titik tengah kecamatan terjadinya gempa.

### 3. Menentukan Data *Training* dan Data *Testing*

Data yang diperoleh dari BMKG Yogyakarta berupa data gempa selama 6 tahun yaitu dari tahun 2014 sampai tahun 2019. Dari data gempa tersebut diperoleh 300 data gempa. Dari 300 data tersebut dibagi menjadi 75% untuk data *training* dan 25% untuk data *testing*, yaitu 225 data *training* dan 75 data *testing*.

### 4. FCM *Clustering* untuk Mencari Pusat *Cluster*

Langkah selanjutnya adalah melakukan *clustering* dari data *training* untuk memperoleh pusat *cluster* yang nantinya digunakan untuk membangun *rule fuzzy*. Pusat *cluster* dicari menggunakan Matlab juga untuk mencari derajat keanggotaan masing-masing data terhadap masing-masing *cluster*. Banyak *cluster* optimal dapat ditentukan dengan melakukan *trial and error* sampai diperoleh hasil dengan akurasi yang tinggi. Berdasarkan pengujian yang dilakukan maka diperoleh banyak *cluster* optimal sebanyak 7 *cluster*. Pusat *cluster* yang diperoleh dari pengujian digunakan untuk membangun fungsi keanggotaan dan *rule* dalam inferensi *fuzzy*.

Pusat *cluster* untuk membentuk sistem *fuzzy* diperoleh dengan menggunakan Matlab. Data yang digunakan dalam menentukan pusat *cluster* adalah data *training* dari setiap variabel, yaitu data kedalaman gempa, kekuatan gempa dan jarak titik gempa menuju titik tengah Kecamatan. Sehingga ukuran matriks pusat *cluster* yang terbentuk adalah  $7 \times 3$ , dengan banyak *cluster* 7 dan banyak variabel adalah 3. Perintah untuk menentukan pusat *cluster* dengan MATLAB adalah:

```
Data = [Data];  
[Center,U]z = fcm(Data,7);
```

Dari perintah tersebut diperoleh hasil matriks V,

$$V = \begin{bmatrix} 11.5116 & 2.4122 & 4.3907 \\ 13.6551 & 3.3549 & 104.9644 \\ 13.3457 & 2.819 & 35.3465 \\ 11.957 & 3.1807 & 87.4818 \\ 28.1548 & 3.0817 & 74.6377 \\ 12.0394 & 3.5534 & 176.93 \\ 12.4629 & 3.5536 & 124.123 \end{bmatrix}$$

dan matriks U,

$$U = \begin{bmatrix} 0.987581 & 0.724820 & \dots & 0.005777 \\ 0.000748 & 0.012791 & \dots & 0.059433 \\ 0.008301 & 0.202050 & \dots & 0.016112 \\ 0.001101 & 0.019384 & \dots & 0.804962 \\ 0.001487 & 0.028168 & \dots & 0.091440 \\ 0.000252 & 0.004028 & \dots & 0.003731 \\ 0.000526 & 0.008756 & \dots & 0.018541 \end{bmatrix}$$

dengan matriks V merupakan pusat *cluster* sedangkan matriks U merupakan derajat keanggotaan dari masing-masing data terhadap masing-masing *cluster*. Ukuran dari matriks U adalah  $7 \times 225$ , dengan 7 adalah banyak *cluster* dan 225 adalah banyaknya data *training*.

## 5. Pembentukan Sitem Fuzzy

*Fuzzy* metode Sugeno orde nol untuk menentukan daerah rawan gempa terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut.

### a. Mengidentifikasi Himpunan Fuzzy pada Input

Langkah pertama dalam mengidentifikasi himpunan fuzzy pada input adalah menentukan himpunan universal dari setiap variabel input. Dalam penelitian ini, hasil pusat cluster digunakan sebagai puncak dari setiap fungsi keanggotaan dan nilai standar deviasi sebagai lebar dari fungsi keanggotaan. Nilai standar deviasi masing-masing variabel input yaitu, 11,1 untuk variabel kedalaman gempa, 0,58 untuk variabel kekuatan gempa dan 43,6 untuk variabel jarak gempa.

Setelah himpunan universal ditentukan, langkah selanjutnya membentuk fungsi keanggotaan pada semua variabel input. Untuk memudahkan dalam membangun aturan fuzzy, maka setiap fungsi keanggotaan dari masing-masing variabel diberi nama, yaitu K1 untuk himpunan fuzzy pertama dari variabel kedalaman gempa dan seterusnya sampai K7 untuk himpunan *fuzzy* ketujuh dari variabel kedalaman gempa. Hal yang sama dilakukan pada masing-masing variabel. Berikut hasil dari pendefinisian dari masing-masing variabel input.

#### 1) Kedalaman Gempa (K)

Nilai minimal pada variabel kedalaman gempa ditentukan dengan pusat *cluster* terkecil variabel kedalaman gempa dikurangi nilai standar deviasi data, sedangkan nilai maksimal ditentukan dengan pusat *cluster* terbesar variabel kedalaman gempa ditambah nilai standar deviasi data. Maka himpunan universal dari variabel kedalaman gempa adalah  $K = [0,41;39,2]$ . Selanjutnya variabel dibagi menjadi 7 fungsi keanggotaan *fuzzy* sesuai dengan hasil pengklasteran. Berikut fungsi keanggotaan *fuzzy* dari variabel kedalaman gempa.

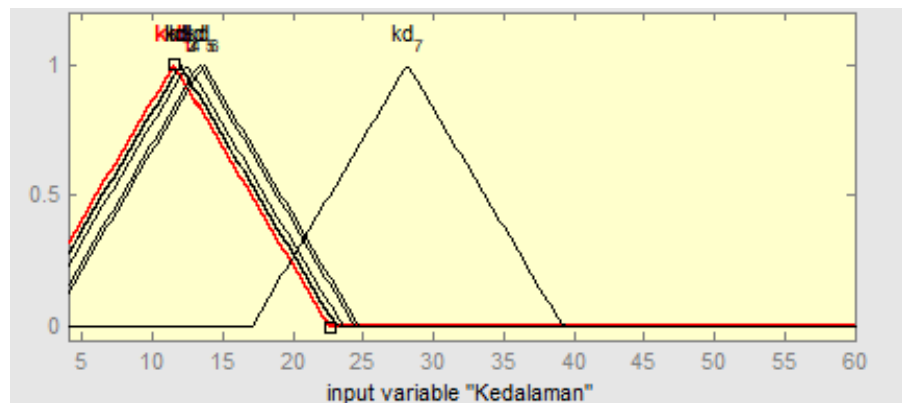
$$\mu_{K1}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 0,41 \text{ atau } x \geq 22,61 \\ \frac{x - 0,41}{11,1}; & 0,41 \leq x \leq 11,51 \\ \frac{22,61 - x}{11,1}; & 11,51 \leq x \leq 22,61 \end{cases}$$

$$\mu_{K2}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 0,85 \text{ atau } x \geq 23,05 \\ \frac{x - 0,85}{11,1}; & 0,85 \leq x \leq 11,95 \\ \frac{23,05 - x}{11,1}; & 11,95 \leq x \leq 23,05 \end{cases}$$

$$\mu_{K3}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 0,93 \text{ atau } x \geq 23,13 \\ \frac{x - 0,93}{11,1}; & 0,93 \leq x \leq 12,03 \\ \frac{23,13 - x}{11,1}; & 12,03 \leq x \leq 23,13 \end{cases}$$

⋮

$$\mu_{K7}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 17,05 \text{ atau } x \geq 39,25 \\ \frac{x - 17,05}{11,1}; & 17,05 \leq x \leq 28,15 \\ \frac{39,25 - x}{11,1}; & 28,15 \leq x \leq 39,25 \end{cases}$$



**Gambar 1.** Grafik Fungsi Kedalaman Gempa (K)

2) Kekuatan Gempa (G)

Nilai minimal pada variabel kekuatan gempa ditentukan dengan pusat *cluster* terkecil variabel kekuatan gempa dikurangi nilai standar deviasi data, sedangkan nilai maksimal ditentukan dengan pusat *cluster* terbesar variabel kekuatan gempa ditambah nilai standar deviasi data. Maka himpunan universal dari variabel kekuatan gempa adalah  $G = [1,83;4,13]$ . Selanjutnya variabel dibagi menjadi 7 fungsi keanggotaan *fuzzy* sesuai dengan hasil pengklasteran. Berikut fungsi keanggotaan *fuzzy* dari variabel kekuatan gempa.

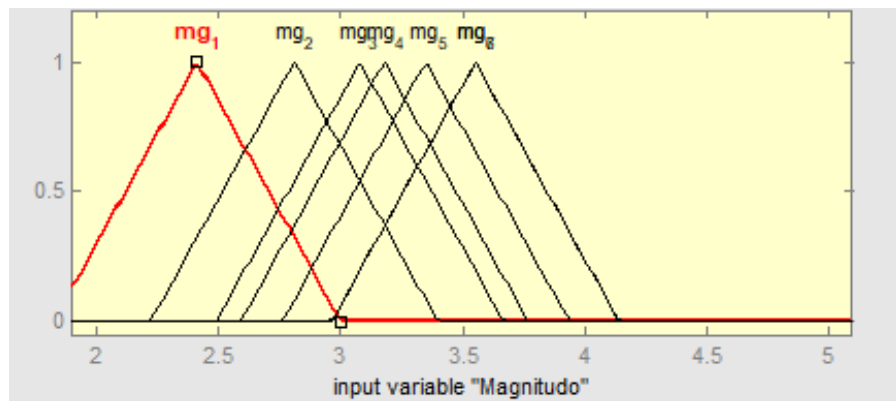
$$\mu_{G1}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 1,83 \text{ atau } x \geq 2,99 \\ \frac{x - 1,83}{0,58}; & 1,83 \leq x \leq 2,41 \\ \frac{2,99 - x}{0,58}; & 2,41 \leq x \leq 2,99 \end{cases}$$

$$\mu_{G2}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 2,23 \text{ atau } x \geq 3,39 \\ \frac{x - 2,23}{0,58}; & 2,23 \leq x \leq 2,81 \\ \frac{3,39 - x}{0,58}; & 2,81 \leq x \leq 3,39 \end{cases}$$

$$\mu_{G3}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 2,5 \text{ atau } x \geq 3,66 \\ \frac{x - 2,5}{0,58}; & 2,5 \leq x \leq 3,08 \\ \frac{3,66 - x}{0,58}; & 3,08 \leq x \leq 3,66 \end{cases}$$

⋮

$$\mu_{G7}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 3,974 \text{ atau } x \geq 4,134 \\ \frac{x - 3,974}{0,58}; & 3,974 \leq x \leq 3,554 \\ \frac{4,134 - x}{0,58}; & 3,554 \leq x \leq 4,134 \end{cases}$$



**Gambar 2.** Grafik Fungsi Kekuatan Gempa (G)

### 3) Jarak Gempa (J)

Nilai minimal pada variabel jarak gempa ditentukan dengan pusat *cluster* terkecil variabel jarak gempa dikurangi nilai standar deviasi data, sedangkan nilai maksimal ditentukan dengan pusat *cluster* terbesar variabel jarak gempa ditambah nilai standar deviasi data. Maka himpunan universal dari variabel jarak gempa adalah  $J = [-,39,21;223,53]$ . Selanjutnya variabel dibagi menjadi 7 fungsi keanggotaan *fuzzy* sesuai dengan hasil pengklasteran. Berikut fungsi keanggotaan *fuzzy* dari variabel jarak gempa.

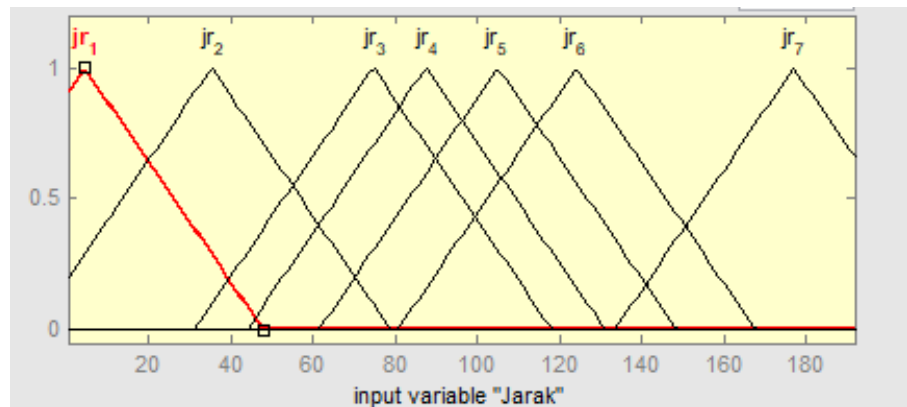
$$\mu_{J1}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq -39,21 \text{ atau } x \geq 47,99 \\ \frac{x - (-39,21)}{43,6}; & -39,21 \leq x \leq 4,39 \\ \frac{47,99 - x}{43,6}; & 4,39 \leq x \leq 47,66 \end{cases}$$

$$\mu_{J2}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq -8,26 \text{ atau } x \geq 78,94 \\ \frac{x - (-8,26)}{43,6}; & -8,26 \leq x \leq 35,34 \\ \frac{78,94 - x}{43,6}; & 35,34 \leq x \leq 78,94 \end{cases}$$

$$\mu_{J3}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 31,03 \text{ atau } x \geq 118,23 \\ \frac{x - 31,03}{43,6}; & 31,03 \leq x \leq 74,63 \\ \frac{118,23 - x}{43,6}; & 74,63 \leq x \leq 118,23 \end{cases}$$

⋮

$$\mu_{J7}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 133,33 \text{ atau } x \geq 220,53 \\ \frac{x - 133,33}{43,6}; & 133,33 \leq x \leq 176,93 \\ \frac{220,53 - x}{43,6}; & 176,93 \leq x \leq 220,53 \end{cases}$$

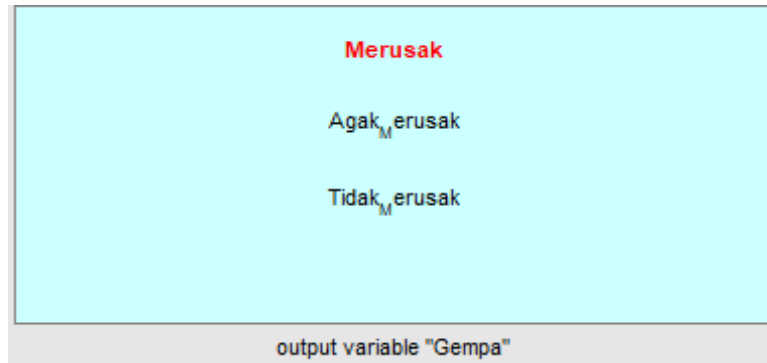


**Gambar 3.** Grafik Fungsi Jarak Gempa (J)

b. Mengidentifikasi Parameter pada *Output*

Konsekuensi dari sistem *fuzzy* metode Sugeno orde nol merupakan konstanta. Pada Matlab, konstanta yang digunakan yaitu berupa parameter. Parameter pada variabel output dibagi menjadi 7 berdasarkan hasil pengklasteran data yang telah dilakukan. Sepuluh parameter tersebut direpresentasikan dengan tipe *constant* dan parameter yang digunakan merupakan pusat *cluster* dari variabel *output* yaitu kerawanan gempa. Untuk mempermudah dalam membangun aturan *fuzzy*, dari 7 parameter tersebut diberi nama dengan KG1 untuk parameter pertama, KG2 untuk parameter kedua dan seterusnya sampai KG7 untuk parameter ketujuh. Berikut *output* dari parameter tingkat kerawanan gempa.





**Gambar 4.** Parameter *Output Tipe Constant*

c. Membangun Aturan *Fuzzy*

Berdasarkan hasil pengklasteran 7 data *cluster* diperoleh pusat *cluster* dari masing-masing variabel, sehingga dapat dibentuk menjadi 7 aturan *fuzzy (rule)*. Berdasarkan dari hasil matriks V, pusat *cluster* dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Pusat *Cluster* Setiap Variabel

No Cluster	Variabel			
	Kedalaman Gempa	Kekuatan Gempa	Jarak Gempa	Kerawanan Gempa
1.	11,5116	2,4122	4,3907	1
2.	13,6551	3,3549	104,9644	1
3.	13,3457	2,819	35,3465	1
4.	11,957	3,1807	87,4818	1
5.	28,1548	3,0817	74,6377	0,5
6.	12,0394	3,5534	176,93	1
7.	12,4629	3,5536	124,123	1

Untuk menentukan *rule*, hasil pusat *cluster* dari table 1 pada setiap variabel diberi urutan dan penamaan. Sebagai contoh, pada *cluster* 1, pusat *cluster* variabel kedalaman gempa yaitu 11,51 adalah urutan ke-1 dari 7 pusat *cluster* pada variabel kedalaman gempa. Sehingga pada *rule* didefinisikan dengan K1. Hal yang sama dilakukan pada masing-masing variabel dari setiap *cluster*. Berikut uraian urutan lengkap *rule* pada Tabel 1.

**Rule (1)** “Jika kedalaman gempa adalah K1 dan kekuatan gempa adalah G1 dan jarak gempa adalah J1 maka kerawanan gempa adalah KG2.”

**Rule (2)** “Jika kedalaman gempa adalah K6 dan kekuatan gempa adalah G5 dan jarak gempa adalah J5 maka kerawanan gempa adalah KG3.”

**Rule (3)** “Jika kedalaman gempa adalah K5 dan kekuatan gempa adalah G2 dan jarak gempa adalah J2 maka kerawanan gempa adalah KG4.”

⋮

**Rule (7)** “Jika kedalaman gempa adalah K4 dan kekuatan gempa adalah G7 dan jarak gempa adalah J6 maka kerawanan gempa adalah KG7.”

d. Sistem Inferensi *Fuzzy*

Sistem inferensi yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode Sugeno orde nol dengan FIS Matlab. Pada metode ini, konsekuen aturan-aturan yang telah dibangun kemudian diubah menjadi konstanta. Konstanta tersebut diperoleh dari hasil clustering pada variabel output sebanyak 10 cluster. Sebagai contoh pada aturan:

**Rule (1)** “Jika kedalaman gempa adalah K1 dan kekuatan gempa adalah G1 dan jarak gempa adalah J1 maka kerawanan gempa adalah 1.”

**Rule (2)** “Jika kedalaman gempa adalah K6 dan kekuatan gempa adalah G5 dan jarak gempa adalah J5 maka kerawanan gempa adalah 1.”

**Rule (3)** “Jika kedalaman gempa adalah K5 dan kekuatan gempa adalah G2 dan jarak gempa adalah J2 maka kerawanan gempa adalah 1.”

⋮

**Rule (7)** “Jika kedalaman gempa adalah K4 dan kekuatan gempa adalah G7 dan jarak gempa adalah J6 maka kerawanan gempa adalah 1.”

e. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi yang digunakan pada metode Sugeno orde nol ini adalah metode *weight average* yang dinyatakan dengan rumus berikut.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n z_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (4.1)$$

Sebagai contoh, diberikan input pada kedalaman gempa yaitu 15, pada kekuatan gempa 3 dan pada jarak gempa 60. Akan ditentukan besar kerawanan gempa menggunakan *fuzzy* Sugeno orde nol dengan defuzzifikasi metode *weight average*. Langkah pertama yaitu dilakukan tahap fuzzifikasi masing-masing *input* menggunakan fungsi keanggotaan yang telah dibangun dan diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{Kedalaman gempa} &= 15 \\ \mu_{K1}(15) &= 0,685 \\ \mu_{K5}(15) &= 0,85 \\ \mu_{K6}(15) &= 0,878 \\ \text{Kekuatan gempa} &= 2,5 \\ \mu_{G1}(3) &= 0,844 \\ \mu_{G2}(3) &= 0,46 \\ \mu_{G5}(3) &= 0 \\ \text{Jarak gempa} &= 45 \\ \mu_{J1}(60) &= 0,06 \\ \mu_{J2}(60) &= 0,778 \\ \mu_{J5}(60) &= 0 \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut dapat dilakukan komposisi aturan *fuzzy* dan diperoleh:

$$\begin{aligned}
 [KG1] &= \min(\mu_{K1}(15); \mu_{G1}(2,5); \mu_{J1}(45)) \\
 &= \min(0,685; 0,85; 0,878) \\
 &= 0,685
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [KG2] &= \min(\mu_{K6}(15); \mu_{G5}(2,5); \mu_{J5}(45)) \\
 &= \min(0,878; 0; 0) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

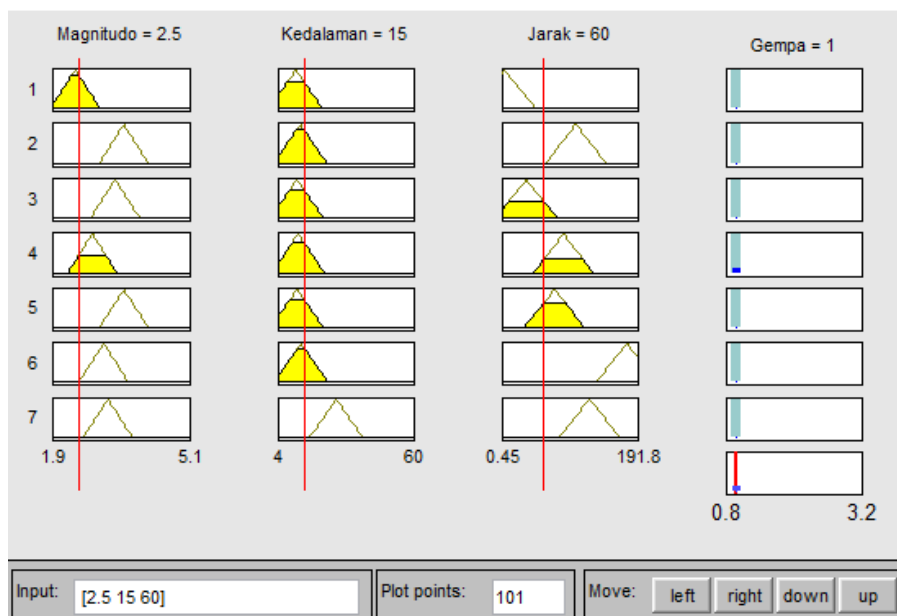
$$\begin{aligned}
 [KG3] &= \min(\mu_{K5}(15); \mu_{G2}(2,5); \mu_{J2}(45)) \\
 &= \min(0,85; 0,46; 0,778) \\
 &= 0,46
 \end{aligned}$$

Di tahap defuzzifikasi digunakan metode *weight average* menggunakan rumus 2.19 diperoleh:

$$z = \frac{(0,685 \cdot 1) + (0 \cdot 1) + (0,46 \cdot 1)}{0,685 + 0 + 0,46}$$

$$z = 1$$

Dari hasil tersebut diketahui bahwa ketika kedalaman gempa = 15, kekuatan gempa = 2,5 dan jarak gempa = 45 maka kerawanan gempa = 1. Berikut adalah hasil defuzzifikasi menentukan nilai kerawanan gempa jika dihitung menggunakan FIS MATLAB.



**Gambar 5.** Rule Viewer Model Fuzzy

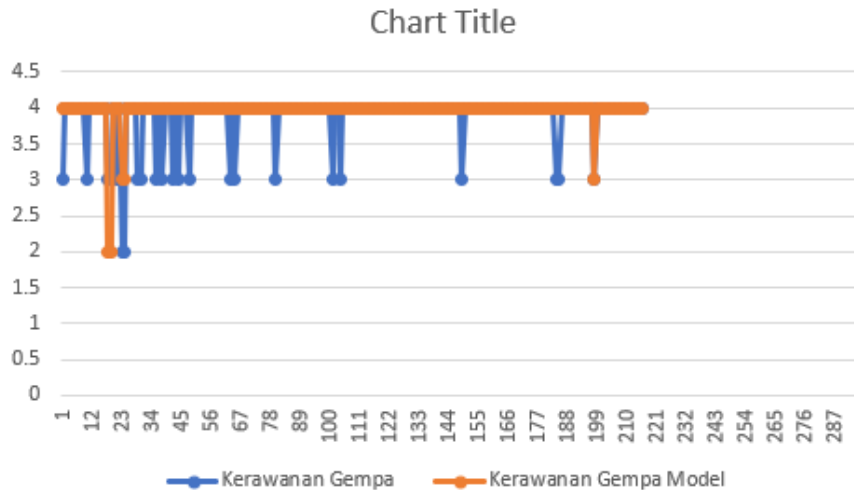
Dari hasil hitung defuzzifikasi manual dan menggunakan Matlab memberikan hasil yang berbeda. Hasil yang berbeda ini dapat terjadi dengan kemungkinan adanya perbedaan nilai yang diperoleh pada tahap fuzzifikasi.

**f. Menentukan MAPE**

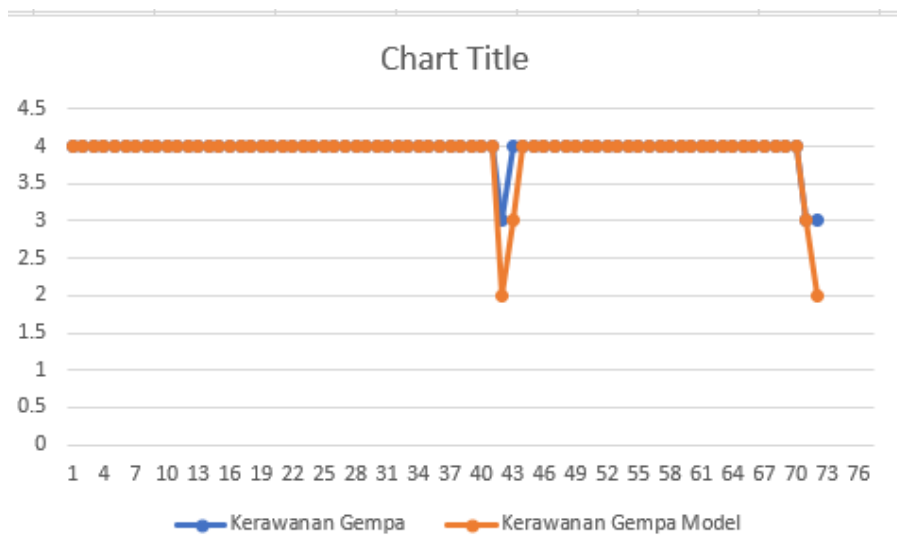
Mean Absolute Percentage Error (MAPE) merupakan rata-rata dari keseluruhan persentase kesalahan antara data aktual dengan data prediksi yang telah dihitung. Dari 225 data training dan 75 data testing, diperoleh nilai MAPE kerawanan gempa untuk mengetahui besarnya error pada kerawanan gempa dari model *fuzzy* Sugeno dengan kerawanan gempa dari data aktual. Persentase error prediksi rugi tembaga dengan data aktual dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Nilai MAPE Kerawanan Gempa Data Training dan Data Testing

Nilai MAPE Kerawanan Gempa	Data Training	Data Testing
	3,5493%	1,2731%



**Gambar 6.** Plot Tingkat Kerawanan Gempa dan Tingkat Kerawanan Gempa Model Data Training



**Gambar 7.** Plot Tingkat Kerawanan Gempa dan Tingkat K Kerawanan Gempa Model Data Testing

## SIMPULAN

Hasil penelitian diperoleh nilai MAPE sebesar 3,5493% untuk data training dan 1,2731% untuk data testing, sehingga diketahui akurasi data training adalah 96,4506% dan akurasi data testing sebesar 98,7268%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada koordinator Prodi Matematika Ibu Sri Andayani, Pembimbing Skripsi Bapak Agus Maman Abadi dan seluruh Dosen Pendidikan Matematika yang telah memberikan ilmu hingga terselesainya artikel ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia, R. (2019). Fuzzy Multiple Attribute Decision Making in Hotel Selection. *ZERO: Jurnal Sains, Matematika Dan Terapan*, 4(2). <https://doi.org/10.30829/zero.v4i2.3167>
- Edy Susanto, M. (2019). 濟無No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Fallis, A. (2013). Bab Ii Landasan Teori. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Irjaya, N., & Pamungkas, A. (2014). Penentuan Zona Kerentanan Bencana Gempa Bumi Tektonik di Kabupaten Malang Wilayah Selatan. *JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 3, No. 2, (2014)*, 3(2), 107–112.
- Marsell, R. (2016). Zonasi Daerah Rawan Gempa Bumi di Kecamatan Pundong, Bantul Berdasarkan Pendekatan Geomorfolog. *Majalah Geografi Indonesia*, 27(1), 11–25. <https://doi.org/10.22146/mgi.13439>
- Maryaningsih, Siswanto, M. (2013). Metode Logika Fuzzy Dalam Sistem Pengambilan Keputusan Penerimaan Beasiswa. *Jurnal Media Infotama*, 9(1), 140–165. <https://ejournal.medan.uph.edu/index.php/isd/article/download/109/33>
- Mitigasi, U., Cengkih, W., Zen, M. T., Pustaka, B., & Alam, M. (2016). *Gempa Yogyakarta*. 6(2).
- Mujiatun. (2017). Mitigasi Bencana di Kota Yogyakarta Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Geo Educasia*, 2(1), 175–188.
- Murtianto, H. (2016). Potensi Kerusakan Gempa Bumi Akibat Pergerakan Patahan Sumatera Di Sumatera Barat Dan Sekitarnya. *Jurnal Geografi Gea*, 10(1). <https://doi.org/10.17509/gea.v10i1.1667>
- Studi, P., Kebumian, S., & Ilmu, F. (2008). *Karakterisasi sumber gempa Yogyakarta 2006 berdasarkan data GPS*. 3(1), 49–56.
- Suharyo, O. S., Manfaat, D. & Armono, H. (2015). Aplikasi Fuzzy Multi Criteria Decision Making (Fmcdm) Dalam Pemodelan Penentuan Lokasi Pengembangan Pangkalan Angkatan Laut. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan III*, 465–480.
- Suseno, A., & Agus, R. T. (2012). Penggunaan Quantum GIS Dalam Sistem Informasi Geografis. *Quantum GIS, Bogor*, 1–20.
- Harjadi, Prih, Ratag, A. Mezak, dkk. (2007). Pengenalan Karakteristik Bencana Dan Upaya Mitigasinya Di Indonesia. Direktorat Mitigasi Lakhar BAKORNAS BP. Jakarta Pusat
- Sunarjo, Gunawan, M. T. & Pribadi, S. (2012). Gempa Bumi Edisi Populer, BMKG, Jakarta.
- Amri, Yulianti, Yunus, dkk, (2016). RBI Risiko Bencana Indonesia. Jakarta: BNPB.
- Lunga, S., Minarto, E. & Mantiri, S. Y. Y. (2015). Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya.
- Saleh, A., Sari, R. E. & Kurniawan, H. (2017). Seminar Nasional Informatika (SNIf).