

# *Prototype Early Warning System Tanah Longsor Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Google Maps*

*(Landslide Early Warning System Prototype Using Fuzzy Logic Based on Google Maps)*

Novalia Dwirohmatun Sugianti, Ida Bagus Ketut Widiartha, Ario Yudo Husodo\*

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Mataram  
Jl. Majapahit 62, Mataram, Lombok NTB, INDONESIA  
Email: nsugianti29@gmail.com, widi@unram.ac.id, ario@ti.ftunram.ac.id

*\*Penulis korespondensi*

**Abstract** - Landslide is a natural disaster that frequently happens in Indonesia. This disaster can cause many casualties, buildings damage, loss of livelihoods, sanitation deterioration, and the emergence of many diseases. To minimize this, prevention is needed by mapping the landslide-prone areas. By doing prevention, an early warning system can be provided. This research tries to develop an early warning system about landslide disasters by using a fuzzy system approach. This research is tested in six areas in Lombok, which are Batulayar, Bayan, Tanjung, Gangga, Sambelia, and Sembalun. The variables used in this research are ground height, slope, rainfall, soil type, and land cover. By using the proposed fuzzy logic, this research produces a level of 83.3% accuracy for determining landslide-prone areas and 91.67% for the warning. As a conclusion, we can summarize that fuzzy logic can be used effectively to map the landslide-prone areas and make the early warning system.

**Key words:** Landslide, Fuzzy Logic, Early Warning System.

## I. PENDAHULUAN

Berdasarkan data yang dimiliki Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), bencana tanah longsor sudah terjadi sebanyak 4620 kali pada tahun 1815-2019 dan merupakan bencana yang sering terjadi serta berada di urutan ketiga setelah banjir dengan jumlah kejadian 8183 kali dan puting beliung dengan jumlah 5546 kali [1]. Tanah longsor dapat terjadi karena adanya erosi, gempa bumi, getaran, tanah yang tidak padat, curah hujan yang tinggi, dan lain – lain. Tanah longsor dapat menimbulkan banyak korban jiwa, rusaknya bangunan di lokasi bencana, hilangnya mata pencaharian, sanitasi memburuk, dan timbulnya banyak penyakit. Untuk meminimalkan terjadinya korban jiwa dan kerugian, tanah longsor dapat dicegah dengan beberapa cara yaitu tidak membangun perumahan di daerah rawan tanah longsor, tidak membuat sawah atau kolam di daerah rawan tanah longsor, membuat terasering, dan lain - lain. Untuk mengetahui daerah rawan tanah longsor perlu adanya pemetaan. Pemetaan tersebut dapat dibantu menggunakan *google maps*, yaitu salah satu layanan pemetaan berbasis *web* yang dapat menyediakan

citra satelit, panorama 360°, peta jalan, dan kondisi medan di suatu wilayah sehingga dapat diolah untuk memberikan informasi daerah rawan tanah longsor dengan efisien kepada masyarakat atau pengguna.

Dilihat dari citra satelit terdapat beberapa daerah di Lombok yang memiliki tebing – tebing yang terjal. Selain itu berdasarkan Peta Geologi Teknik Pulau Lombok diketahui bahwa sebagian besar terdiri atas Kelompok Batuan Gunung Api Tak Terpisahkan (VR), Kelompok Tufa Batu Apung (VT), dan Kelompok Breksi dan Lava (BX, LV) yang memiliki kendala geologi teknik berupa erosi permukaan, tanah longsor, dan banjir [2]. Berdasarkan fakta tersebut, penduduk daerah tersebut perlu bersiap jika suatu saat terjadi tanah longsor sehingga diperlukan adanya suatu sistem peringatan dini. Peringatan dini merupakan sekumpulan tindakan pemberian peringatan secepat mungkin kepada penduduk terkait potensi terjadinya bencana di suatu area [3]. Peringatan dini dapat diberikan berdasarkan prediksi hasil perhitungan berdasarkan beberapa variabel seperti kondisi geologis, kondisi geografis, dan tingkat curah hujan. Untuk menilai apakah suatu daerah tergolong sebagai area rawan tanah longsor dibutuhkan variabel berupa ketinggian tanah, curah hujan, kemiringan lereng, tutupan lahan, dan jenis tanah. Sedangkan untuk menentukan peringatan dini dibutuhkan variabel berupa tingkat kerawanan tanah longsor suatu daerah dan curah hujan harian daerah tersebut. Dengan terbatasnya variabel yang digunakan, maka dibutuhkan suatu metode sederhana yang dapat memberikan keputusan dengan terbatasnya variabel yang dimiliki, sehingga *fuzzy logic* akan cocok untuk digunakan karena *fuzzy logic* merupakan salah satu metode pengambilan keputusan yang mudah digunakan untuk menemukan solusi dari suatu masalah dengan variabel yang terbatas [4]. Dengan adanya *google maps* dapat membantu pemetaan daerah rawan tanah longsor.

Oleh karena itu, dibuatlah suatu *prototype early warning system* tanah longsor menggunakan *fuzzy logic* berbasis *google maps* dengan tujuan dapat menghasilkan suatu sistem yang dapat mengetahui daerah rawan tanah

longsor dan dapat memberikan informasi berupa peringatan dini jika akan terjadi tanah longsor. Sehingga jika *prototype* ini berhasil dapat dibuat suatu sistem *real time* yang berguna untuk masyarakat sehingga masyarakat atau pengguna dapat mengevakuasi diri ke tempat yang lebih aman serta dapat mengurangi dampak dari tanah longsor.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Tanah longsor adalah proses perpindahan massa batuan, regolit, dan tanah dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah akibat pengaruh gravitasi [5]. Untuk mengetahui daerah rawan tanah longsor perlu dilakukan adanya pemetaan. Selain itu, *early warning system* juga diperlukan untuk meminimalkan dampak dari tanah longsor. Hingga saat ini, sudah terdapat banyak penelitian yang membuat pemetaan maupun *early warning system* tanah longsor.

Salah satu contoh penelitian yang dimaksud adalah pemetaan daerah rawan longsor yang menggunakan metode pembobotan parameter dimana parameter yang digunakan berupa kelerengan, penggunaan lahan, curah hujan, dan jenis tanah. Pada penelitian ini, setiap parameter diberikan bobot masing – masing yang kemudian menghasilkan tiga kelas kerawanan yaitu kerawanan cukup rawan, rawan, dan sangat rawan. Adapun akurasi dari penelitian ini adalah 81,97% [6]. Deteksi dini daerah rawan tanah longsor juga pernah dilakukan dengan metode peramalan *triple exponential smoothing* dengan index curah hujan yang menghasilkan nilai *Mean Error* sebesar -121,4413, nilai *Mean Absolute Error* sebesar 1.472,222, dan nilai *Mean Absolute Percentage Error* sebesar 37.331,79. Penelitian ini menyimpulkan bahwa usulan metode tidak efektif sehingga hasil prediksi tidak cukup akurat [7].

Penelitian terkait selanjutnya adalah prediksi penanganan kebakaran di daerah Kudus yang menggunakan Fuzzy Tsukamoto untuk menentukan tingkat kerawanan kebakaran dari setiap kecamatan yang ada di Kudus. Dari penelitian ini, didapatkan nilai akurasi yang berbeda dari setiap kecamatan mulai dari 10% hingga 99%. Penelitian ini menunjukkan bahwa prediksi kebakaran juga dapat dilakukan dengan menggunakan logika fuzzy dengan perhitungan yang lebih sederhana dengan hasil yang bisa diterima dibandingkan dengan jaringan syaraf tiruan dan regresi linear yang mempunyai perhitungan yang lebih rumit [8].

Penelitian lainnya yang menggunakan Fuzzy Tsukamoto dilakukan dalam penelitian analisa kelayakan truk pengangkut material [9]. Penelitian ini menghasilkan tingkat akurasi sebesar 56,66% dimana input pada penelitian ini berupa fisik dari truk dan output berupa nilai tingkat kelayakan dari truk. Namun pada penelitian ini jumlah data yang benar hanyalah 17 data dari 30 data. Hal tersebut dikarenakan kemungkinan adanya atribut terpenting yang tidak dimasukkan [9].

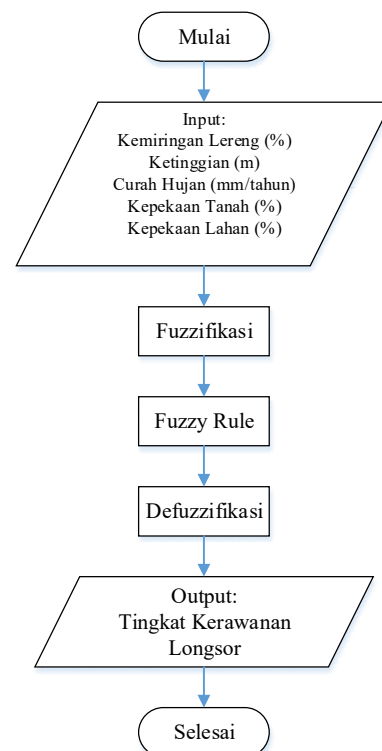
Logika *fuzzy* juga diterapkan dalam pembuatan jadwal dalam suatu perguruan tinggi. Pada penelitian ini dilakukan analisa terhadap penggunaan metode Mamdani dan metode

Sugeno dengan menggunakan dua kali proses pengujian. Metode Mamdani mendapatkan hasil keakurasian sebesar 90,12% dan metode Sugeno mendapatkan hasil keakurasian sebesar 70,63%. Data uji pada penelitian ini hanyalah 20 data sehingga didapatkan tingkat akurasi yang tinggi namun nilai standar yang digunakan pada masing – masing metode berbeda. Metode Mamdani menggunakan standar sebesar 5 sedangkan standar untuk metode Sugeno adalah 7 sehingga ini bisa jadi menyebabkan metode Sugeno memiliki tingkat akurasi yang lebih rendah [10].

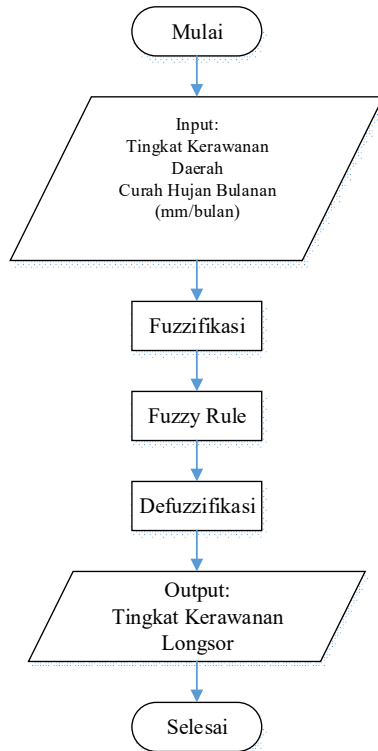
Penelitian lainnya juga membandingkan antara metode Mamdani dan metode Sugeno untuk membuat sistem prediksi cuaca dengan data uji sebanyak 90 data. Terdapat 5 variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu suhu (*temperature*), tekanan udara, kelembaban (*humidity*), kecepatan angin (*wind-speed*), dan intensitas penyinaran matahari. Metode Sugeno mendapat tingkat akurasi sebesar 76,67% dengan 69 data tepat dan metode Mamdani mendapat tingkat akurasi sebesar 32,22% dengan 29 data tepat. Dalam penelitian ini metode Sugeno teruji lebih baik dibandingkan metode Mamdani [11].

## III. METODE PERANCANGAN

Untuk proses perhitungan daerah rawan tanah longsor serta prediksi tanah longsor menggunakan *fuzzy logic* digambarkan dalam *flowchart* atau diagram alir pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut:



Gambar 1. *Flowchart* Proses *Fuzzy Logic* Untuk Tingkat Kerawanan Longsor

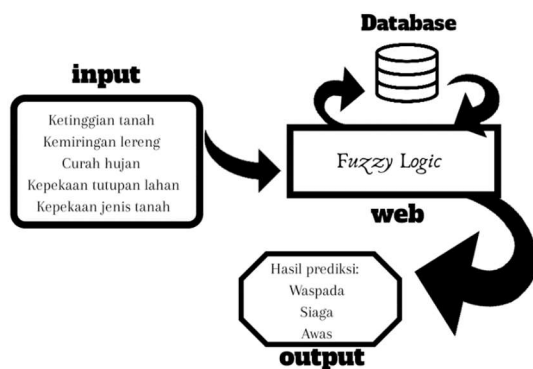


Gambar 2. Flowchart Prediksi Tanah Longsor

A. Analisa Kebutuhan

Pada penelitian ini dibutuhkan data seperti data ketinggian tanah serta kemiringan lereng yang didapatkan dari kontur wilayah Nusa Tenggara Barat, kemudian data curah hujan di suatu area yang diperoleh dari data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Klimatologi Kelas I Lombok Barat, lalu data jenis tanah yang didapatkan dari peta geologis wilayah Nusa Tenggara Barat, dan data tutupan lahan yang didapatkan dari citra satelit dengan bantuan aplikasi *Google Earth*. Data – data tersebut digunakan sebagai variabel penelitian. Selain data, kebutuhan lainnya berupa penguasaan terhadap logika *fuzzy* yang merupakan topik penelitian ini.

B. Desain Sistem



Gambar 3. Arsitektur Sistem

Pada arsitektur sistem yang digambarkan pada Gambar 3 dijelaskan bahwa data *input* di kirim ke dalam *website* kemudian diproses menggunakan *fuzzy logic* dan dihasilkan *output* berupa hasil prediksi dengan tiga tingkatan yaitu waspada, siaga, dan awas. Tingkat waspada yaitu dimana kemungkinan longsor terjadi hingga 50%. Tingkat siaga yaitu dimana kemungkinan longsor terjadi hingga 70%. Tingkat awas yaitu dimana kemungkinan longsor terjadi hingga 100%. Hasil *input* maupun proses dapat disimpan di dalam *database*.

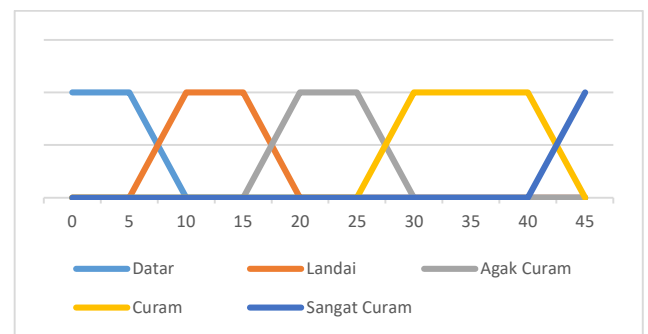
Selain itu dirancang pula kurva fungsi keanggotaan yang merepresentasikan variabel – variabel yang digunakan dalam perhitungan menggunakan logika *fuzzy*. Variabel – variabel tersebut berupa ketinggian tanah (TINGGI), kemiringan lereng (MIRING), tingkat kepekaan jenis tanah (TANAH), tingkat kepekaan tutupan lahan (LAHAN), dan tingkat curah hujan (HUJAN). Pembuatan kurva fungsi keanggotaan menggunakan kurva linear, segitiga, trapezium, dan bahu karena nilai fungsi keanggotaan yang dibutuhkan berupa linear.

1. Kemiringan Lereng (MIRING)

Untuk membuat kurva fungsi keanggotaan kemiringan lereng (MIRING), ditampilkan pada Tabel I yang didasarkan pada SK Mentan No. 837/Kpts/Um/11/80.

TABEL I. KEMIRINGAN LERENG

No	Kategori	Kemiringan Lereng (k) %	Value Linguistik
I	Datar	$k \leq 8$	$x < 10$
II	Landai	$8 < k \leq 15$	$5 < x \leq 20$
III	Agak Curam	$15 < k \leq 25$	$15 < x \leq 30$
IV	Curam	$25 < k \leq 40$	$25 < x \leq 45$
V	Sangat Curam	$40 < k$	$40 < x$



Gambar 4. Kurva Kemiringan Lereng

Dari kurva Gambar 4 tersebut dapat dibuat fungsi keanggotaannya sebagai berikut:

$$Datar \begin{cases} 0, & x \geq 10 \\ \frac{10-x}{10-5}, & 5 < x < 10 \\ 1, & x \leq 5 \end{cases} \quad (1)$$

$$Landai \begin{cases} 0, & x \leq 5 \text{ atau } x \geq 20 \\ \frac{x-5}{10-5}, & 5 < x < 10 \\ \frac{20-x}{20-15}, & 15 < x < 20 \\ 1, & 10 \leq x \leq 15 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{Agak curam} \begin{cases} 0, & x \leq 15 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{x-15}{20-10}, & 15 < x < 20 \\ \frac{30-x}{30-25}, & 25 < x < 30 \\ 1, & 15 \leq x \leq 25 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{Curam} \begin{cases} 0, & x \leq 25 \text{ atau } x \geq 45 \\ \frac{x-25}{30-2}, & 25 < x < 30 \\ \frac{45-x}{45-40}, & 45 < x < 40 \\ 1, & 30 \leq x \leq 40 \end{cases} \quad (4)$$

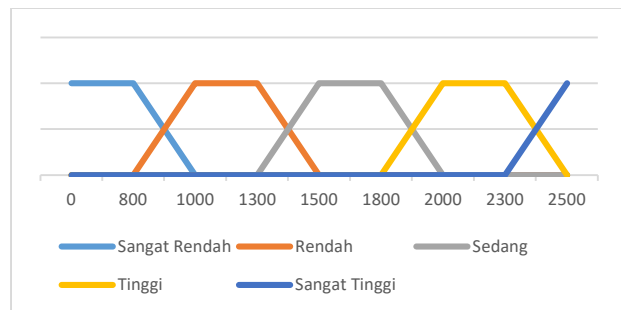
$$\text{Sangat Curam} \begin{cases} 0, & x \leq 40 \\ \frac{x-40}{45-4}, & 40 < x < 45 \\ 1, & x \geq 45 \end{cases} \quad (5)$$

### 2. Ketinggian Tanah (TINGGI)

Untuk membuat kurva ketinggian tanah (TINGGI) didapatkan dari ketetapan yang dibuat oleh Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) pada Tabel II berikut:

TABEL II. KETINGGIAN TANAH

No	Kategori	Ketinggian (t) meter	Value Linguistik
I	Sangat Rendah	$t \leq 1000$	$x \leq 1000$
II	Rendah	$1000 < t \leq 1500$	$800 < x \leq 1500$
III	Sedang	$1500 < t \leq 2000$	$1300 < x \leq 2000$
IV	Tinggi	$2000 < t \leq 2500$	$1800 < x \leq 2500$
V	Sangat Tinggi	$2500 < t$	$x > 2300$



Gambar 5. Kurva Ketinggian

Dari kurva Gambar 5 tersebut dapat dibuat fungsi keanggotaannya sebagai berikut:

$$\text{Sangat Rendah} \begin{cases} 0, & x \geq 1000 \\ \frac{1000-x}{1000-800}, & 800 < x < 1000 \\ 1, & x \leq 800 \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{Rendah} \begin{cases} 0, & x \leq 800 \text{ atau } x \geq 1500 \\ \frac{x-800}{1000-800}, & 800 < x < 1000 \\ \frac{1500-x}{1500-1300}, & 1300 < x < 1500 \\ 1, & 1000 \leq x \leq 1300 \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{Sedang} \begin{cases} 0, & x \leq 1300 \text{ atau } x \geq 2000 \\ \frac{x-1300}{1500-1300}, & 1300 < x < 1500 \\ \frac{2000-x}{2000-1800}, & 1800 < x < 2000 \\ 1, & 1500 \leq x \leq 1800 \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{Tinggi} \begin{cases} 0, & x \leq 1800 \text{ atau } x \geq 2500 \\ \frac{x-1800}{2000-1800}, & 1800 < x < 2000 \\ \frac{2500-x}{2500-2300}, & 2300 < x < 2500 \\ 1, & 2000 \leq x \leq 2300 \end{cases} \quad (9)$$

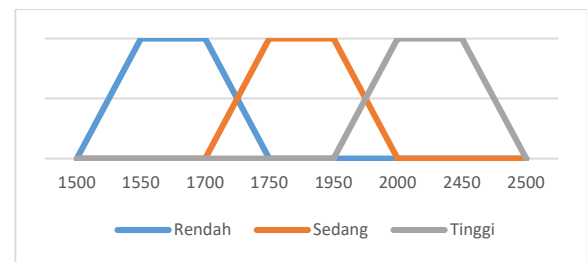
$$\text{Sangat Tinggi} \begin{cases} 0, & x \leq 2300 \\ \frac{x-2300}{2500-2300}, & 2300 < x < 2500 \\ 1, & x \geq 2500 \end{cases} \quad (10)$$

### 3. Curah Hujan (HUJAN)

Untuk membuat kurva curah hujan (HUJAN) didapatkan dari ketetapan yang dibuat oleh Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) pada Tabel III berikut:

TABEL III. CURAH HUJAN

No	Kategori	Curah Hujan (ch) mm/tahun	Value Linguistik
I	Rendah	$1500 \leq ch \leq 1750$	$1500 < x \leq 1750$
II	Sedang	$1750 < ch \leq 2000$	$1700 < x \leq 2000$
III	Tinggi	$2000 < ch \leq 2500$	$1950 < x \leq 2500$



Gambar 6. Kurva Curah Hujan

Dari kurva Gambar 6 tersebut dapat dibuat fungsi keanggotaannya sebagai berikut:

$$\text{Rendah} \begin{cases} 0, & x \leq 1500 \text{ atau } x \geq 1750 \\ \frac{x-1500}{1550-1500}, & 1500 < x < 1550 \\ \frac{1750-x}{1750-1700}, & 1700 < x < 1750 \\ 1, & 1550 < x < 1700 \end{cases} \quad (11)$$

$$\text{Sedang} \begin{cases} 0, & x \leq 1700 \text{ atau } x \geq 2000 \\ \frac{x-1700}{1750-1700}, & 1700 < x < 1750 \\ \frac{2000-x}{2000-1950}, & 1950 < x < 2000 \\ 1, & 1750 < x < 1950 \end{cases} \quad (12)$$

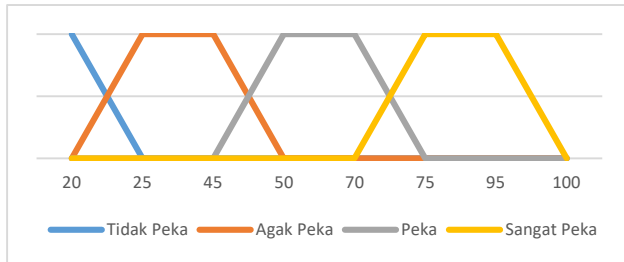
$$\text{Tinggi} \begin{cases} 0, & x \leq 1950 \text{ atau } x \geq 2500 \\ \frac{x-1950}{2000-1950}, & 1950 < x < 2000 \\ \frac{2500-x}{2500-2450}, & 2450 < x < 2500 \\ 1, & 2000 \leq x \leq 2450 \end{cases} \quad (13)$$

### 4. Kepekaan Tanah (TANAH)

Untuk membuat kurva kepekaan tanah (TANAH) didapatkan dari [2] yang dirangkum dalam Tabel IV berikut:

TABEL IV. JENIS TANAH

No	Kategori	Jenis Tanah	Value Linguistik
I	Tidak Peka	Endapan Aluvium, Batu Pasir	$x \leq 25$
II	Agak Peka	Batu Gamping, Batuan Beku	$20 < x \leq 50$
III	Peka	Tufa Batu Apung, Breksi dan Lava	$45 < x \leq 75$
IV	Sangat Peka	Batuan Gunungapi Tak Terpisahkan	$70 < x \leq 100$



Gambar 7. Kurva Kepekaan Tanah

Dari kurva Gambar 7 di atas dapat dibuat fungsi keanggotaannya sebagai berikut:

$$\text{Tidak Peka} \begin{cases} 0, & x \geq 25 \\ \frac{25-x}{25-20}, & 20 < x < 25 \\ 1, & x \leq 20 \end{cases} \quad (14)$$

$$\text{Agak Peka} \begin{cases} 0, & x \leq 20 \text{ atau } x \geq 50 \\ \frac{x-20}{25-20}, & 20 < x < 25 \\ \frac{50-x}{50-4}, & 45 < x < 50 \\ 1, & 25 \leq x \leq 45 \end{cases} \quad (15)$$

$$\text{Peka} \begin{cases} 0, & x \leq 45 \text{ atau } x \geq 75 \\ \frac{x-45}{50-4}, & 45 < x < 50 \\ \frac{75-x}{75-70}, & 70 < x < 75 \\ 1, & 50 \leq x \leq 70 \end{cases} \quad (16)$$

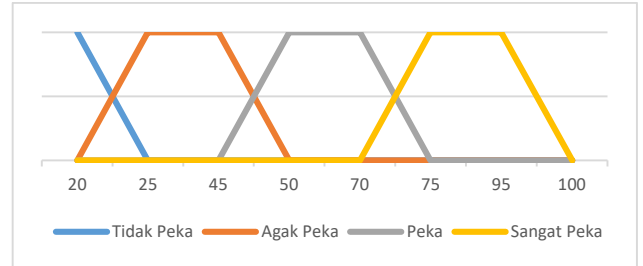
$$\text{Sangat Peka} \begin{cases} 0, & x \leq 70 \text{ atau } x \geq 100 \\ \frac{x-70}{75-70}, & 70 < x < 75 \\ \frac{100-x}{100-95}, & 95 < x < 100 \\ 1, & 75 \leq x \leq 95 \end{cases} \quad (17)$$

### 5. Kepekaan Tutupan Lahan (LAHAN)

Untuk membuat kurva kepekaan tutupan lahan (LAHAN) didapatkan dari Arief, 2016 [12] pada Tabel V berikut:

TABEL V. TUTUPAN LAHAN

No	Kategori Kepekaan	Tutupan Lahan	Value Linguistik
I	Kurang	Hutan, Pasir	$x \leq 25$
II	Agak	Semak Belukar, Perkebunan	$20 < x \leq 50$
III	Peka	Pemukiman, Sawah	$45 < x \leq 75$
IV	Sangat	Tegalan	$70 < x \leq 100$



Gambar 8. Kurva Kepekaan Tutupan Lahan

Dari kurva Gambar 8 di atas dapat dibuat fungsi keanggotaannya sebagai berikut:

$$\text{Tidak Peka} \begin{cases} 0, & x \geq 25 \\ \frac{25-x}{25-20}, & 20 < x < 25 \\ 1, & x \leq 20 \end{cases} \quad (18)$$

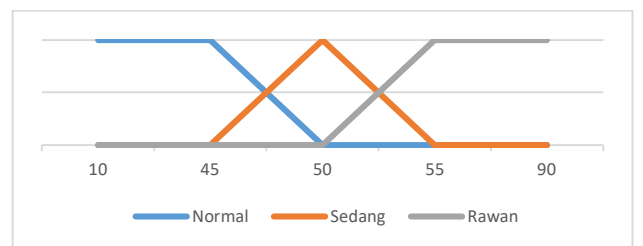
$$\text{Agak Peka} \begin{cases} 0, & x \leq 20 \text{ atau } x \geq 50 \\ \frac{x-20}{25-20}, & 20 < x < 25 \\ \frac{50-x}{50-4}, & 45 < x < 50 \\ 1, & 25 \leq x \leq 45 \end{cases} \quad (19)$$

$$\text{Peka} \begin{cases} 0, & x \leq 45 \text{ atau } x \geq 75 \\ \frac{x-45}{50-4}, & 45 < x < 50 \\ \frac{75-x}{75-70}, & 70 < x < 75 \\ 1, & 50 \leq x \leq 70 \end{cases} \quad (20)$$

$$\text{Sangat Peka} \begin{cases} 0, & x \leq 70 \text{ atau } x \geq 100 \\ \frac{x-70}{75-70}, & 70 < x < 75 \\ \frac{100-x}{100-95}, & 95 < x < 100 \\ 1, & 75 \leq x \leq 95 \end{cases} \quad (21)$$

### 6. Daerah (DAERAH)

Kurva daerah (DAERAH) merupakan kurva hasil dari perhitungan logika fuzzy untuk variabel di atas, peneliti menentukan pembagian untuk menyatakan tingkat kerawanan suatu daerah dimana daerah normal akan beririsan dengan daerah sedang di nilai 45-50 sedangkan daerah sedang dan rawan beririsan di nilai 50-55.



Gambar 9. Kurva Daerah

Dari kurva Gambar 9 di atas dapat dibuat fungsi keanggotaannya sebagai berikut:

$$\text{Normal} \begin{cases} 0, & x \geq 50 \\ \frac{50-x}{50-45}, & 45 < x < 50 \\ 1, & x \leq 45 \end{cases} \quad (22)$$

$$Sedang \begin{cases} 0, & x \leq 45 \text{ atau } x \geq 50 \\ \frac{x-45}{50-45}, & 45 < x < 50 \\ \frac{55-x}{55-50}, & 50 < x < 55 \\ 1, & x = 50 \end{cases} \quad (23)$$

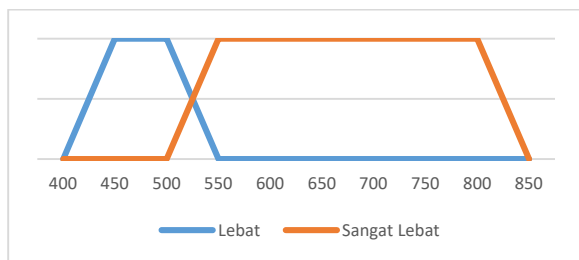
$$Rawan \begin{cases} 0, & x \leq 50 \\ \frac{x-55}{70-55}, & 50 < x < 55 \\ 1, & x \geq 55 \end{cases} \quad (24)$$

### 7. Hujan Bulanan (HUJAN\_BULANAN)

Untuk membuat kurva hujan bulanan (HUJAN\_BULANAN) didapatkan dari BMKG pada presentasi Curah Hujan dan Potensi Bencana Gerakan Tanah Tahun 2008 pada Tabel VI berikut:

TABEL VI. CURAH HUJAN BULANAN

No	Kategori	Curah Hujan (mm/bulan)	Kumulatif Curah Hujan (mm)	Value Linguistik
I	Sangat Ringan	10-15	10-15	-
II	Ringan	60-70	70-85	-
III	Sedang	180-210	250-295	-
IV	Lebat	150-250	400-545	$400 < x \leq 550$
V	Sangat Lebat	110-300	510-845	$500 < x \leq 850$



Gambar 10. Kurva Hujan Bulanan

Dari kurva Gambar 10 di atas dapat dibuat fungsi keanggotaannya sebagai berikut:

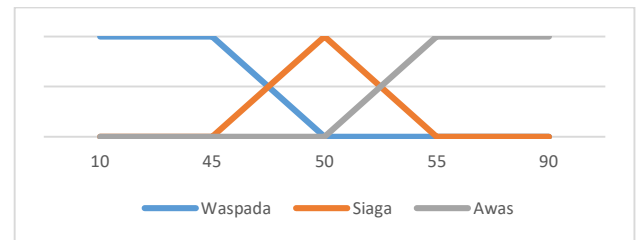
$$Lebat \begin{cases} 0, & x \leq 400 \text{ atau } x \geq 550 \\ \frac{x-400}{450-400}, & 400 < x < 450 \\ \frac{550-x}{550-500}, & 500 < x < 550 \\ 1, & 450 \leq x \leq 500 \end{cases} \quad (25)$$

$$Sangat lebat \begin{cases} 0, & x \leq 500 \text{ atau } x \geq 850 \\ \frac{x-500}{550-500}, & 500 < x < 550 \\ \frac{850-x}{850-800}, & 850 < x < 800 \\ 1, & 550 \leq x \leq 800 \end{cases} \quad (26)$$

### 8. Prediksi (PREDIKSI)

Kurva prediksi (PREDIKSI) merupakan hasil dari perhitungan logika fuzzy dengan variabel HUJAN\_BULANAN dan DAERAH, peneliti menentukan pembagian untuk menyatakan tingkat kerawanan suatu

daerah dimana daerah normal akan beririsan dengan daerah sedang di nilai 45-50 sedangkan daerah sedang dan rawan beririsan di nilai 50-55.



Gambar 21. Kurva Prediksi

Dari kurva Gambar 11 di atas dapat dibuat fungsi keanggotaannya sebagai berikut:

$$Waspada \begin{cases} 0, & x \geq 50 \\ \frac{50-x}{50-30}, & 30 < x < 50 \\ 1, & x \leq 30 \end{cases} \quad (27)$$

$$Siaga \begin{cases} 0, & x \leq 30 \text{ atau } x \geq 50 \\ \frac{x-30}{50-30}, & 30 < x < 50 \\ \frac{70-x}{70-50}, & 50 < x < 70 \\ 1, & x = 50 \end{cases} \quad (28)$$

$$Awat \begin{cases} 0, & x \leq 50 \\ \frac{x-50}{70-50}, & 50 < x < 70 \\ 1, & x \geq 70 \end{cases} \quad (29)$$

Setelah merancang kurva dilakukan perancangan terhadap aturan – aturan yang akan digunakan untuk melakukan perhitungan logika fuzzy. Peraturan tersebut dirancang berdasarkan hasil wawancara dengan salah satu Staff Data dan Informasi Stasiun Klimatologi BMKG Lombok Barat yaitu:

[R1] IF TINGGI sangat rendah  $\vee$  MIRING datar  $\vee$  TANAH tidak peka  $\vee$  LAHAN kurang peka  $\vee$  HUJAN rendah THEN DAERAH normal

[R2] IF TINGGI rendah  $\vee$  MIRING landai  $\vee$  TANAH agak peka  $\vee$  LAHAN agak peka  $\vee$  HUJAN rendah THEN DAERAH normal

[R3] IF TINGGI sedang  $\vee$  MIRING agak curam  $\vee$  TANAH peka  $\vee$  LAHAN peka  $\vee$  HUJAN sedang THEN DAERAH sedang

[R4] IF TINGGI tinggi  $\vee$  MIRING curam  $\vee$  TANAH peka  $\vee$  LAHAN peka  $\vee$  HUJAN tinggi THEN DAERAH rawan

[R5] IF TINGGI sangat tinggi  $\vee$  MIRING sangat curam  $\vee$  TANAH sangat peka  $\vee$  LAHAN sangat peka  $\vee$  HUJAN tinggi THEN DAERAH rawan

Untuk memprediksi longsor juga dibutuhkan aturan yang didapatkan dari BMKG yaitu:



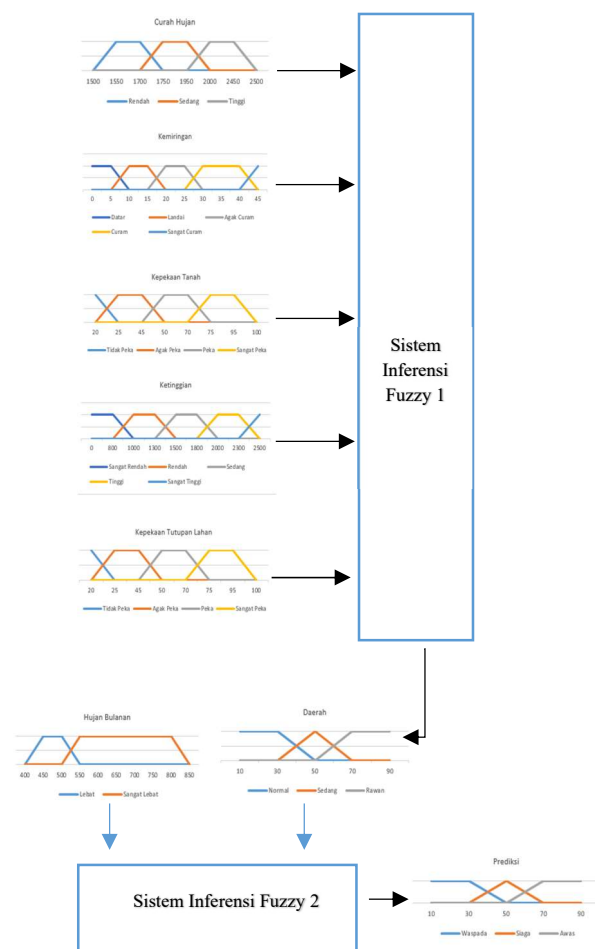
[R1] IF DAERAH sedang  $\wedge$  HUJAN\_BULANAN lebat THEN PREDIKSI waspada

[R2] IF DAERAH sedang  $\wedge$  HUJAN\_BULANAN sangat lebat THEN PREDIKSI waspada

[R3] IF DAERAH rawan  $\wedge$  HUJAN\_BULANAN lebat THEN PREDIKSI siaga

[R4] IF DAERAH rawan  $\wedge$  HUJAN\_BULANAN sangat lebat THEN PREDIKSI awas

Berikut pada Gambar 12 merupakan gambaran proses *fuzzy* mulai dari pemetaan hingga mendapatkan peringatan dini.



Gambar 12. Diagram Alur Proses Fuzzy

Gambar 12 menjelaskan bahwa terdapat variabel ketinggian, kemiringan, curah hujan, jenis tanah, dan jenis lahan yang sudah melalui *fuzzifikasi* dengan memasukkan nilai ke dalam kurva masing – masing variabel. Kemudian variabel – variabel tersebut diproses ke dalam *Fuzzy Inference System 1* dimana berisi *fuzzy rule* untuk mendapatkan daerah rawan longsor. Kemudian daerah rawan longsor tersebut menjadi masukan untuk *Fuzzy Inference System 2* dengan tambahan variabel curah hujan

bulanan yang kemudian menghasilkan peringatan dini atau prediksi tanah longsor.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian akurasi sistem dilakukan dengan membandingkan antara hasil perhitungan sistem dan data BPBD terhadap tingkat kerawanan suatu tanah mengalami longsor. Adapun hasil perbandingan tersebut tercantum pada Tabel VII.

TABEL VII. PERBANDINGAN DATA TINGKAT KERAWANAN LONGSOR DENGAN SISTEM

No.	Daerah	Tingkat Kerawanan		Keterangan
		Sistem	BPBD	
1	Batulayar	Sedang	Sedang	Valid
2	Bayan	Normal	Normal	Valid
3	Gangga	Sedang	Sedang	Valid
4	Tanjung	Sedang	Sedang	Valid
5	Sambelia	Normal	Normal	Valid
6	Semalun	Rawan	Rawan	Valid

Nilai keakuratan tingkat kerawanan

$$= \frac{\text{jumlah yang sesuai}}{\text{jumlah kasus}} \times 100\%$$

$$= \frac{6}{6} \times 100\% = 100\%$$

Peringatan longsor diuji dengan cara melakukan perbandingan hasil perhitungan sistem berdasarkan aturan yang sudah dibuat dalam *fuzzy rule*, sehingga didapatkan hasil seperti Tabel VIII berikut.

TABEL VIII. HASIL PERBANDINGAN PREDIKSI SISTEM DENGAN FUZZY RULE

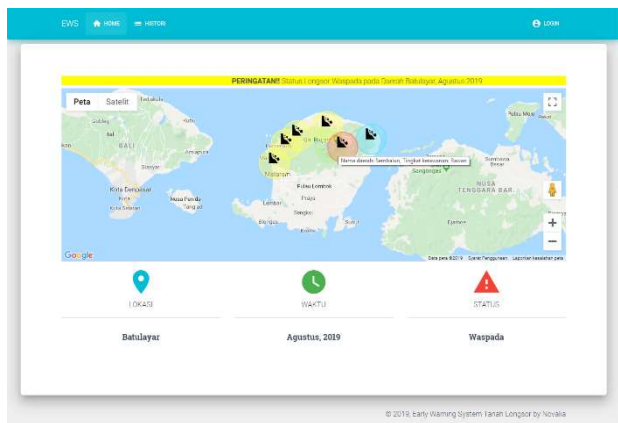
No.	Daerah	Bulan (2018)	Prediksi		Keterangan
			Sistem	Rule	
1	Batulayar	Januari	Waspada	Waspada	Valid
2		Februari	Normal	Normal	Valid
3		Maret	Normal	Normal	Valid
4		April	Normal	Normal	Valid
5		Mei	Normal	Normal	Valid
6		Juni	Normal	Normal	Valid
7	Bayan	Januari	Normal	Normal	Valid
8		Februari	Normal	Normal	Valid
9		Maret	Normal	Normal	Valid
10		April	Normal	Normal	Valid
11		Mei	Normal	Normal	Valid
12		Juni	Normal	Normal	Valid
13	Gangga	Januari	Waspada	Waspada	Valid
14		Februari	Normal	Normal	Valid
15		Maret	Normal	Normal	Valid
16		April	Normal	Normal	Valid
17		Mei	Normal	Normal	Valid
18		Juni	Normal	Normal	Valid
19	Tanjung	Januari	Waspada	Waspada	Valid
20		Februari	Normal	Normal	Valid
21		Maret	Normal	Normal	Valid
22		April	Normal	Normal	Valid
23		Mei	Normal	Normal	Valid
24		Juni	Normal	Normal	Valid
25	Sambelia	Januari	Normal	Normal	Valid
26		Februari	Normal	Normal	Valid
27		Maret	Normal	Normal	Valid

28		April	Normal	Normal	Valid
29		Mei	Normal	Normal	Valid
30		Juni	Normal	Normal	Valid
31	Sembalun	Januari	Awas	Awas	Valid
32		Februari	Normal	Normal	Valid
33		Maret	Normal	Normal	Valid
34		April	Normal	Normal	Valid
35		Mei	Normal	Normal	Valid
36		Juni	Normal	Normal	Valid

Nilai keakuratan tingkat kerawanan

$$= \frac{\text{jumlah yang sesuai}}{\text{jumlah kasus}} \times 100\%$$

$$= \frac{36}{36} \times 100\% = 100\%$$



Gambar 13. Tampilan *Prototype Early Warning System* Tanah Longsor

Dalam penelitian ini, peringatan dini diberikan pada halaman utama berupa informasi di bawah pemetaan.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian tingkat akurasi daerah rawan tanah longsor *Prototype Early Warning System* Tanah Longsor menggunakan *Fuzzy Logic* menghasilkan nilai sebesar 100% dan tingkat akurasi peringatan sebesar 100%, sehingga dapat dikatakan bahwa *fuzzy logic* dapat digunakan dalam menentukan tingkat kerawanan tanah longsor serta memberikan prediksi sebagai peringatan dini dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] BNPB, "No Title." [Online]. Available: <http://bnpb.cloud/dibi/tabel1>. [Accessed: 23-Jun-2019].
- [2] M. W. S. T. P. Sarwondo, "RESUME HASIL KEGIATAN PEMETAAN GEOLOGI TEKNIK PULAU LOMBOK SKALA 1:250.000," 2014.
- [3] BPBD, "BPBD Kabupaten Pringsewu." [Online]. Available: <http://bpbk.pringsewukab.go.id/peringatan-dini/>.
- [4] A. Saelan, *Logika Fuzzy*. 2009.
- [5] Priyono, "HUBUNGAN KLASIFIKASI LONGSOR, KLASIFIKASI TANAH RAWAN LONGSOR DAN KLASIFIKASI TANAH PERTANIAN RAWAN LONGSOR," *GEMA*, vol. XXVII, 2015.
- [6] J. O. P. S. S. B. Sasmito, "Pembuatan Peta Zona Rawan Tanah Longsor di Kota Semarang dengan Melakukan Pembobotan Parameter," *J. Geod. Undip*, vol. III, no. 2, 2014.
- [7] G. M. K. D. H. Talabessy, "Model Spasial Deteksi Dini Daerah Rawan Longsor menggunakan Metode Triple Exponential Smoothing Berbasis Mobile (Studi Kasus: Jawa Tengah)," 2016.
- [8] C. H. H. E. M. Ardianto, "Prediksi Tingkat Kerawanan Kebakaran di Daerah Kudus Menggunakan Fuzzy Tsukamoto," *Citec J.*, vol. IV, no. 3, 2017.
- [9] M. P. S. N. A. S. Pratiwi, "Analisa Kelayakan Truk Pengangkut Material Alam PT. Arga Wastu Sluke - Rembang menggunakan Fuzzy Logic Tsukamoto," *Techno.COM*, vol. xiv, no. 1, 2015.
- [10] S. Wibowo, "Penerapan Logika Fuzzy dalam Penjadwalan Waktu Kuliah," *J. Inform. UPGRIS*, vol. I, 2015.
- [11] Z. N. N. E. S. Mahmud, "Analisa Perbandingan Metode Sugeno dan Mamdani dalam Sistem Prediksi Cuaca (Studi Kasus BMKG Kelas III Tanjungpinang)," 2015.
- [12] A. Y. Effendi, "Pembuatan Peta Daerah Rawan Bencana Tanah Longsor dengan Menggunakan Metode Fuzzy Logic (Studi Kasus: Probolinggo)," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016.