

PRAKIRAAN DAERAH RAWAN LONGSOR DI KOLAKA TIMUR MENGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY

¹⁾Dwi Zayyan Nurrahma Safitri, ²⁾Jasruddin, ³⁾Pariabti Palloan

¹⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Makassar, email: 230026301016@student.unm.ac.id

²⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Makassar, email: jasruddin@unm.ac.id

²⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Makassar, email: pariabty.p@unm.ac.id

Abstrak

Tanah longsor adalah salah satu bencana alam hidrometeorologi yang sering terjadi di Indonesia. Di Provinsi Sulawesi Tenggara, Kabupaten Kolaka Timur termasuk salah satu daerah yang sering mengalami kejadian tanah longsor sehingga berpotensi menimbulkan banyak korban jiwa maupun kerugian material. Untuk menentukan daerah yang memiliki tingkat kerawanan longsor dapat digunakan beberapa metode, salah satunya adalah logika fuzzy. Logika fuzzy merupakan suatu metode yang dapat menerapkan sifat kesamaran pada nilai sehingga mampu mengikuti cara berpikir manusia. Pada penelitian ini, logika fuzzy digunakan untuk menentukan tingkat kerawanan longsor pada setiap kecamatan di Kabupaten Kolaka Timur. Metode logika fuzzy terdiri dari tiga tahapan, yaitu fuzzifikasi, penalaran, dan defuzzifikasi. Penelitian ini menggunakan lima parameter sebagai input, yaitu curah hujan, kemiringan, ketinggian, jenis tanah, serta penggunaan lahan, dan menghasilkan keluaran berupa tingkat kerawanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat tiga kecamatan yang termasuk dalam kelas sangat rawan, empat kecamatan dalam kelas rawan, dan lima kecamatan dalam kelas tidak rawan.

Kata Kunci: Bencana alam; Longsor; Kabupaten Kolaka Timur; Logika Fuzzy

Abstract

Landslides are one of the hydrometeorological natural disasters that frequently occur in Indonesia. In Southeast Sulawesi Province, East Kolaka Regency is one of the areas where landslides often occur, resulting in significant loss of life and material damage. To determine landslide-prone areas, several methods can be used, one of which is fuzzy logic. Fuzzy logic is a method that applies the concept of vagueness in values and is capable of representing human reasoning. In this study, fuzzy logic is used to determine the level of landslide susceptibility in each district of East Kolaka Regency. The fuzzy logic method consists of three stages: fuzzification, inference, and defuzzification. This study uses five parameters as input variables, namely rainfall, slope, elevation, soil type, and land use, and produces an output in the form of a landslide susceptibility level. The results show that three districts are classified as very highly susceptible, four districts are classified as susceptible, and five districts are classified as not susceptible.

Keywords: Natural disasters; Landslides; East Kolaka Regency; Fuzzy Logic

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap berbagai jenis bencana, baik bencana alam, non-alam, maupun bencana sosial. Salah satu jenis bencana alam yang sering terjadi di Indonesia adalah bencana hidrometeorologi, yaitu bencana yang dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan iklim. Salah satu contoh bencana hidrometeorologi tersebut adalah tanah longsor. Tanah longsor merupakan peristiwa pergerakan massa batuan, tanah, atau material penyusun lereng yang bergerak menuruni atau keluar dari lereng akibat pengaruh gaya gravitasi (Effendi & Hariyanto, 2016). Tanah longsor merupakan salah satu bencana yang memakan banyak korban jiwa, kehilangan harta benda, kerusakan bangunan serta infrastruktur, juga berdampak terhadap kehidupan sosial masyarakat (Triani & Bulaka, 2024).

Tanah longsor dapat disebabkan curah hujan yang tinggi, penggunaan lahan, dan struktur geologi suatu daerah (Arsyad et al., 2018). Selain itu, penyebab utama tanah longsor adalah gaya gravitasi yang bekerja pada lereng, namun terdapat faktor lain seperti curah hujan yang tinggi, penggunaan lahan yang tidak sesuai, dan kondisi geologi (Saputra et al., 2019). Tanah longsor juga dapat disebabkan oleh masuknya air ke dalam tanah yang meningkatkan beban tanah. Apabila air merembes hingga ke lapisan kedap air, maka tanah menjadi licin dan lapisan tanah di atasnya rentan longsor (Fatiatun et al., 2019).

Berdasarkan dokumen Kajian Risiko Bencana Nasional Provinsi Sulawesi Tenggara, Kabupaten Kolaka Timur termasuk wilayah dengan tingkat kerentanan longsor yang tinggi (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2021). Dalam beberapa tahun terakhir, kejadian longsor juga tercatat terjadi di wilayah tersebut.

Pada tanggal 6 Mei 2024 terjadi tanah longsor di jalan poros Kolaka Timur-Kolaka yang berada di Kelurahan Horodopi, Kecamatan Mowewe. Selanjutnya, pada tanggal 4 Juli 2023 kembali terjadi tanah longsor di jalan poros Kolaka Timur-Kolaka tepatnya di kilometer 11. Kejadian tersebut menyebabkan arus lalu lintas di wilayah tersebut mengalami kemacetan total sehingga diperlukan koordinasi dengan berbagai pihak terkait untuk melakukan pembersihan material longsor yang menutup badan jalan. Selain itu, pada tanggal 27 Mei 2022 juga terjadi tanah longsor di Kecamatan Sabilambo, tepatnya di jalan poros Kolaka Timur-Kolaka di kilometer 12. Peristiwa tersebut mengakibatkan pohon tumbang dan material tanah menutup sebagian ruas jalan sehingga arus lalu lintas sempat terganggu dan kendaraan harus mengantre cukup lama untuk dapat melewati jalur tersebut.

Salah satu metode dalam sistem cerdas yang dapat digunakan untuk peramalan adalah logika fuzzy yang diperkenalkan oleh Zadeh pada tahun 1965 (Setiawan et al., 2018). Logika fuzzy merupakan metode yang mampu memetakan ruang input ke ruang output serta menggunakan pendekatan linguistik yang mudah dipahami (Irawan & Herviana, 2018). Selain itu, metode ini juga dapat dianalisis secara matematis sehingga banyak digunakan dalam berbagai penelitian (Ismarnita Wilda & Respitawulan, 2023).

Berdasarkan latar belakang tersebut, dalam menentukan tingkat kerawanan longsor di Kabupaten Kolaka Timur dilakukan pemetaan daerah rawan longsor dengan menggunakan metode logika fuzzy. Hasil pemetaan tersebut diharapkan dapat dimanfaatkan oleh masyarakat untuk mengetahui tingkat kerawanan tanah longsor di wilayah tersebut.

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode logika fuzzy untuk menganalisis dan memprediksi tingkat kerawanan tanah longsor di Kabupaten Kolaka Timur. Pemilihan metode ini didasarkan pada kemampuannya dalam mengolah data yang bersifat tidak pasti dan kompleks, sehingga dapat memberikan hasil analisis yang lebih fleksibel terhadap berbagai parameter lingkungan yang memengaruhi terjadinya longsor.

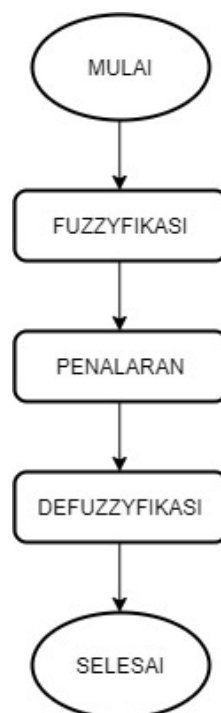
B. Variabel Operasional Penelitian

Variabel dalam penelitian ini terdiri atas variabel input (independen) dan variabel output (dependen). Variabel input meliputi curah hujan, kemiringan lereng, ketinggian wilayah, jenis tanah, dan tutupan lahan yang digunakan sebagai parameter utama dalam analisis. Sementara itu, variabel output dalam penelitian ini adalah tingkat kerawanan longsor yang dihasilkan dari pengolahan seluruh variabel input menggunakan metode logika fuzzy.

C. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber resmi. Data curah hujan diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), data kemiringan lereng serta tutupan lahan diperoleh dari Ina-Geoportal, data ketinggian diperoleh dari RTRW Kabupaten Kolaka Timur, dan data jenis tanah diperoleh dari FAO. Teknik yang digunakan dalam pengumpulan data adalah studi dokumentasi, yaitu dengan menghimpun dan mengkaji data yang telah tersedia dari instansi terkait.

D. Teknik Pengolahan Data



Gambar 1 Diagram Alir Logika Fuzzy

Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode logika fuzzy yang terdiri atas tiga tahapan utama, yaitu fuzzyfikasi, penalaran (inference), dan defuzzyfikasi. Fuzzyfikasi merupakan proses mengubah data input yang bersifat tegas (crisp) menjadi nilai dalam bentuk himpunan fuzzy melalui fungsi keanggotaan. Selanjutnya, tahap penalaran dilakukan dengan mengolah nilai input berdasarkan aturan (rules) yang telah ditentukan untuk menghasilkan keluaran dalam bentuk fuzzy. Tahap terakhir adalah defuzzyfikasi, yaitu proses mengubah nilai fuzzy menjadi nilai tegas (crisp) yang digunakan sebagai output akhir berupa tingkat kerawanan longsor.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Dalam penelitian ini, variabel masukan yang digunakan terdiri dari lima parameter, yaitu curah hujan, jenis tanah, ketinggian, kemiringan lereng, dan tutupan lahan. Adapun variabel keluaran yang dihasilkan adalah tingkat kerawanan longsor.

Tabel 1. Pembagian kelas parameter curah hujan

Kelas	Curah Hujan (mm/bulan)
Rendah	0 - 100 mm
Sedang	100 - 300 mm
Tinggi	300 - 500 mm

Sumber: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

Tabel 2. Pembagian kelas parameter jenis tanah

Kelas	Jenis Tanah
Tidak Peka	Aluvial, Tanah Glej Planosol Hidromorf Kelabu, Literita Air Tanah
Agak Peka	Latosol
Kurang Peka	Brown Forest Soil, Non Calcis Brown, Mediteran
Peka	Andosol, Laterit Grumosol, Podsol, Podsolik
Sangat Peka	Regosol, Litosol, Organosol, Renzina

Sumber: SK Mentan No.837/Kpts/Um/11/80

Tabel 3. Pembagian kelas parameter ketinggian

Kelas	Ketinggian (mdpl)
Rendah	<250
Sedang	250-500
Tinggi	500-1500
Sangat Tinggi	>1500

Sumber: Bappeda Litbang Koltim

Tabel 4. Pembagian kelas parameter kemiringan lereng

Kelas	Kemiringan (%)
Datar	0 - 8
Landai	8 - 15
Agak Curam	15 - 25
Curam	25- 40
Sangat Curam	>40

Sumber: SK Mentan No.837/Kpts/Um/11/80

Tabel 5. Pembagian kelas parameter tutupan lahan

Kelas	Jenis
Rendah	Pasir, Hutan
Sedang	Perkebunan, Semak Belukar
Banyak	Sawah, Permukiman
Sangat banyak	Tegalan

Tabel 6. Pembagian kelas tingkat kerawanan longsor

Tingkat Kerawanan	Skor
Tidak Rawan	1,00 - 1,69
Rawan	1,70 - 2,39
Sangat Rawan	2,40 - 3,00

Sumber: Peraturan Menteri PU No.22/PRT/M/2007

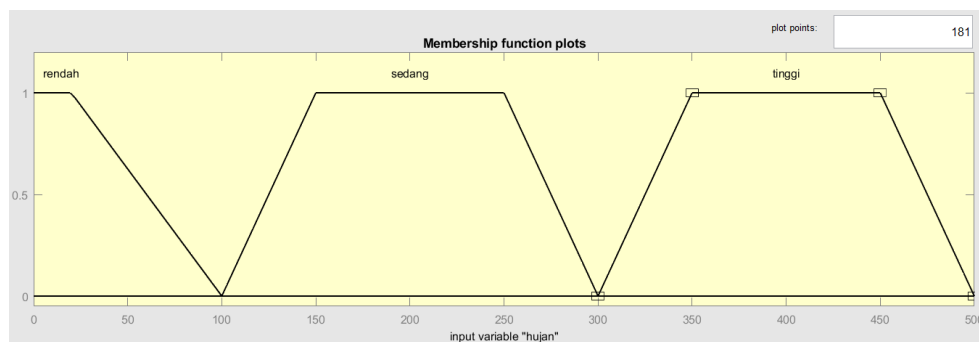
Nilai keanggotaan pada variabel input curah hujan dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Pembagian ini digunakan untuk merepresentasikan tingkat curah hujan ke dalam bentuk nilai linguistik yang kemudian dinyatakan dalam fungsi keanggotaan. Setiap himpunan memiliki rentang

nilai tertentu yang menunjukkan derajat keanggotaan dari data curah hujan, sehingga nilai input yang semula bersifat tegas (crisp) dapat diubah menjadi bentuk fuzzy sebagai dasar dalam proses analisis selanjutnya.

$$\mu_{rendah} = \begin{cases} 0; x \geq 100 \\ \frac{100-x}{100-20}; 20 < x < 100 \\ 1; x \leq 20 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{sedang} = \begin{cases} 0; x \leq 100 \text{ atau } x \geq 300 \\ \frac{x-100}{150-100}; 100 \leq x \leq 150 \\ \frac{300-x}{300-250}; 250 \leq x \leq 300 \\ 1; 150 \leq x \leq 250 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{tinggi} = \begin{cases} 0; x \leq 300 \\ \frac{x-300}{400-300}; 300 \leq x \leq 400 \\ 1; x \geq 400 \end{cases} \quad (3)$$



Gambar 2 Kurva nilai keanggotaan curah hujan

Untuk kurva nilai keanggotaan yang digunakan pada parameter curah hujan adalah berbentuk trapesium. Hal ini disebabkan karena pada kurva trapesium terdapat beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 sehingga mewakili untuk nilai keanggotaan pada parameter curah hujan.

Nilai keanggotaan variabel input kemiringan dibagi ke dalam lima himpunan fuzzy, yaitu datar, landai, agak curam, curam, dan sangat curam, yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

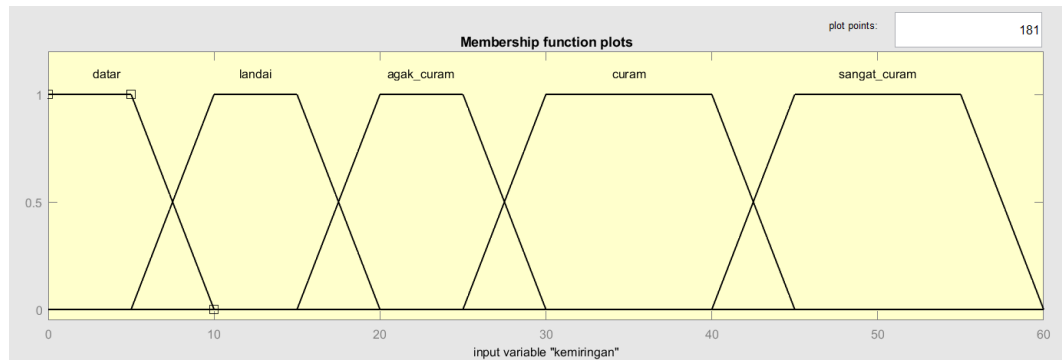
$$\mu_{datar} = \begin{cases} 0; x \geq 10 \\ \frac{10-x}{10-5}; 5 < x < 10 \\ 1; x \leq 5 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{landai} = \begin{cases} 0; x \leq 5 \text{ atau } x \geq 20 \\ \frac{x-5}{10-5}; 5 < x < 10 \\ \frac{20-x}{20-15}; 15 < x < 20 \\ 1; 10 \leq x \leq 15 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{agak_curam} = \begin{cases} 0; x \leq 15 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{x-15}{20-10}; 15 < x < 20 \\ \frac{30-x}{30-25}; 25 < x < 30 \\ 1; 20 \leq x \leq 25 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{\text{curam}} = \begin{cases} 0; x \leq 25 \text{ atau } x \geq 45 \\ \frac{x-25}{30-25}; 25 < x < 30 \\ \frac{45-x}{45-40}; 40 < x < 45 \\ 1; 30 \leq x \leq 40 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{\text{sangat_curam}} = \begin{cases} 0; x \leq 40 \\ \frac{x-40}{45-40}; 40 < x < 45 \\ 1; x \geq 45 \end{cases} \quad (8)$$



Gambar 3 Kurva nilai keanggotaan kemiringan

Untuk kurva nilai keanggotaan yang digunakan pada parameter kemiringan adalah berbentuk trapesium. Hal ini disebabkan karena pada kurva trapesium terdapat beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 sehingga mewakili untuk nilai keanggotaan pada parameter kemiringan.

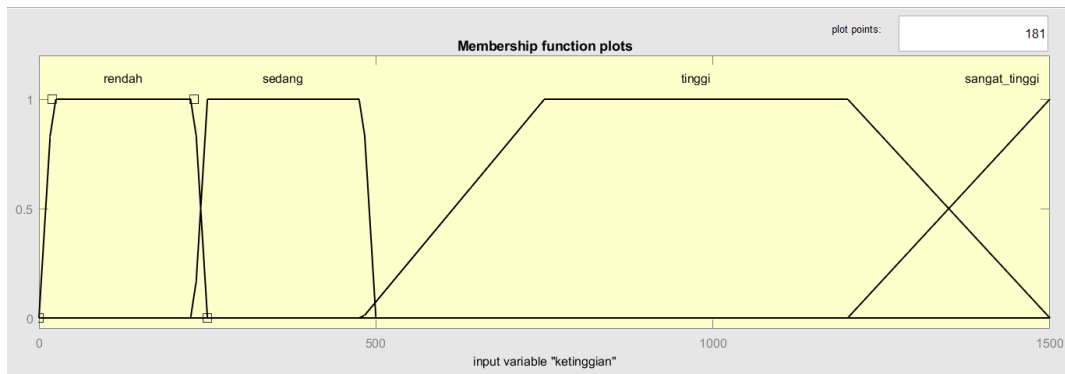
Nilai keanggotaan variabel input ketinggian dibagi ke dalam empat himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi, yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\mu_{\text{rendah}} = \begin{cases} 0; x \geq 250 \\ \frac{250-x}{250-230}; 230 < x < 250 \\ 1; x \leq 230 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{\text{sedang}} = \begin{cases} 0; x \leq 230 \text{ atau } x \geq 500 \\ \frac{x-230}{250-230}; 230 \leq x \leq 250 \\ \frac{500-x}{500-480}; 480 \leq x \leq 500 \\ 1; 250 \leq x \leq 480 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{\text{tinggi}} = \begin{cases} 0; x \leq 480 \text{ atau } x \geq 1500 \\ \frac{x-480}{500-480}; 480 \leq x \leq 500 \\ \frac{1500-x}{1500-1200}; 1200 \leq x \leq 1500 \\ 1; 500 \leq x \leq 1200 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{\text{sangat_tinggi}} = \begin{cases} 0; x \leq 1200 \\ \frac{x-1200}{1500-1200}; 1200 < x < 1500 \\ 1; x \geq 1500 \end{cases} \quad (12)$$



Gambar 4 Kurva nilai keanggotaan ketinggian

Untuk kurva nilai keanggotaan yang digunakan pada parameter ketinggian adalah berbentuk trapesium. Hal ini disebabkan karena pada kurva trapesium terdapat beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 sehingga mewakili untuk nilai keanggotaan pada parameter ketinggian.

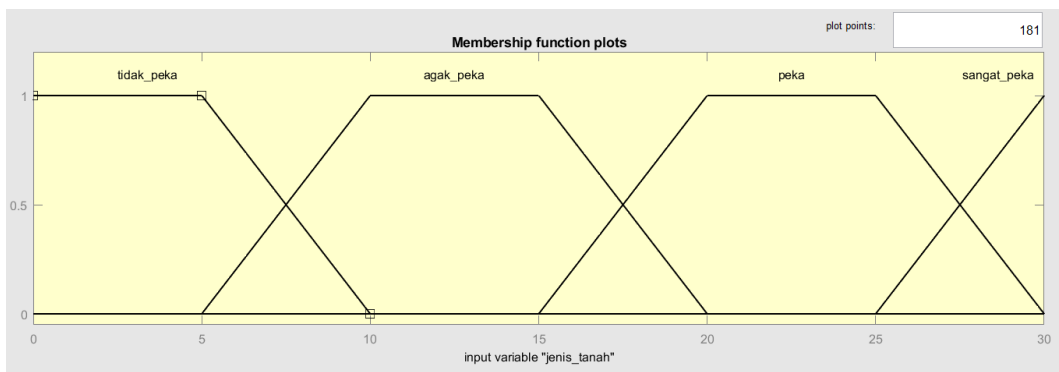
Nilai keanggotaan variabel input jenis tanah dibagi ke dalam empat himpunan fuzzy, yaitu tidak peka, agak peka, peka, dan sangat peka, yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\mu_{\text{tidak_peka}} = \begin{cases} 0; x \geq 10 \\ \frac{10-x}{10-5}; 5 < x < 10 \\ 1; x \leq 5 \end{cases} \quad (13)$$

$$\mu_{\text{agak_peka}} = \begin{cases} 0; x \leq 5 \text{ atau } x \geq 20 \\ \frac{x-5}{10-5}; 5 \leq x \leq 10 \\ \frac{20-x}{20-15}; 15 \leq x \leq 20 \\ 1; 10 \leq x \leq 15 \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_{\text{peka}} = \begin{cases} 0; x \leq 15 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{x-20}{20-15}; 15 \leq x \leq 20 \\ \frac{30-x}{30-25}; 25 \leq x \leq 30 \\ 1; 15 \leq x \leq 25 \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu_{\text{sangat_peka}} = \begin{cases} 0; x \leq 25 \\ \frac{x-25}{30-25}; 25 < x < 30 \\ 1; x \geq 35 \end{cases} \quad (16)$$



Gambar 5 Kurva nilai keanggotaan jenis tanah

Untuk kurva nilai keanggotaan yang digunakan pada parameter jenis tanah adalah berbentuk trapesium. Hal ini disebabkan karena pada kurva trapesium terdapat beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 sehingga mewakili untuk nilai keanggotaan pada parameter jenis tanah.

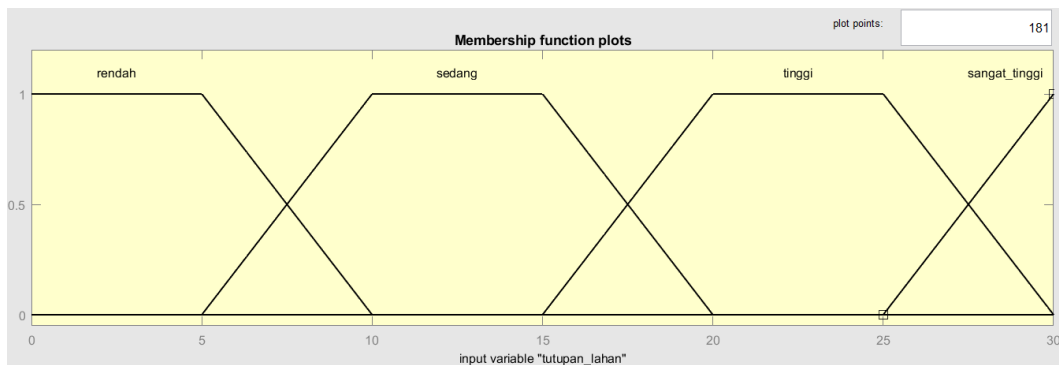
Nilai keanggotaan variabel input tutupan lahan dibagi ke dalam empat himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi, yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\mu_{rendah} = \begin{cases} 0; & x \geq 10 \\ \frac{10-x}{10-5}; & 5 < x < 10 \\ 1; & x \leq 5 \end{cases} \quad (17)$$

$$\mu_{sedang} = \begin{cases} 0; & x \leq 5 \text{ atau } x \geq 20 \\ \frac{x-5}{10-5}; & 5 \leq x \leq 10 \\ \frac{20-x}{20-15}; & 15 \leq x \leq 20 \\ 1; & 10 \leq x \leq 15 \end{cases} \quad (18)$$

$$\mu_{tinggi} = \begin{cases} 0; & x \leq 15 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{x-20}{20-15}; & 15 \leq x \leq 20 \\ \frac{30-x}{30-25}; & 25 \leq x \leq 30 \\ 1; & 15 \leq x \leq 25 \end{cases} \quad (19)$$

$$\mu_{sangat_tinggi} = \begin{cases} 0; & x \leq 25 \\ \frac{x-25}{30-25}; & 25 < x < 30 \\ 1; & x \geq 30 \end{cases} \quad (20)$$



Gambar 6. Kurva nilai keanggotaan tutupan lahan

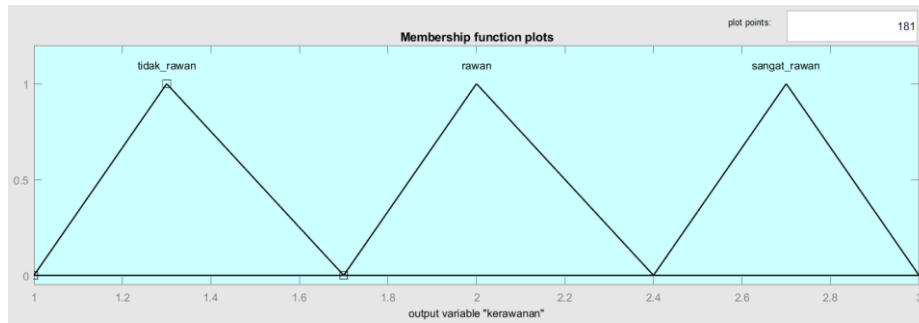
Untuk kurva nilai keanggotaan yang digunakan pada parameter tutupan lahan adalah berbentuk trapesium. Hal ini disebabkan karena pada kurva trapesium terdapat beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 sehingga mewakili untuk nilai keanggotaan pada parameter tutupan lahan.

Nilai keanggotaan variabel output kerawanan dibagi ke dalam tiga himpunan fuzzy, yaitu tidak rawan, rawan, dan sangat rawan, yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\mu_{tidak_rawan} = \begin{cases} 0; & x \leq 1 \text{ atau } x \geq 1,69 \\ \frac{x-1}{1,3-1}; & 1 \leq x \leq 1,3 \\ \frac{1,3-x}{1,7-1,3}; & 1,3 \leq x \leq 1,69 \end{cases} \quad (21)$$

$$\mu_{\text{rawan}} = \begin{cases} 0; x \leq 1,7 \text{ atau } x \geq 2,39 \\ \frac{x-1,7}{2-1,7}; 1,7 \leq x \leq 2 \\ \frac{1,7-x}{2,39-2}; 2 \leq x \leq 2,39 \end{cases} \quad (22)$$

$$\mu_{\text{sangat_rawan}} = \begin{cases} 0; x \leq 2,4 \text{ atau } x \geq 3 \\ \frac{x-2,4}{2,7-2,4}; 2,4 \leq x \leq 2,7 \\ \frac{2,4-x}{3-2,4}; 2,7 \leq x \leq 3 \end{cases} \quad (23)$$



Gambar 7. Kurva nilai keanggotaan kerawanan

Berbeda dengan kurva parameter inputan, untuk kurva nilai keanggotaan yang digunakan pada parameter output kerawanan adalah berbentuk segitiga. Hal ini disebabkan karena hanya terdapat satu titik nilai himpunan keanggotaan satu pada nilai keanggotaan parameter output kerawanan.

Variabel curah hujan dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Kemudian didapatkan keanggotaan variabel curah hujan 489 mm/bulan yaitu $\mu_{\text{rendah}} = 0$, $\mu_{\text{sedang}} = 0$, $\mu_{\text{tinggi}} = 1$. Untuk curah hujan termasuk kategori tinggi dengan keanggotaan 100%.

Variabel kemiringan dibagi menjadi lima himpunan fuzzy yaitu datar, landai, agak curam, curam, dan sangat curam. Kemudian didapatkan keanggotaan variabel 8% yaitu $\mu_{\text{datar}} = 0,4$, $\mu_{\text{landai}} = 0,6$, $\mu_{\text{agak_curam}} = 0$, $\mu_{\text{curam}} = 0$, $\mu_{\text{sangat_curam}} = 0$. Untuk kemiringan termasuk kategori datar dengan keanggotaan 40% dan landai dengan keanggotaan 60%.

Variabel ketinggian dibagi menjadi empat himpunan fuzzy yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Kemudian didapatkan keanggotaan variabel 750 mdpl yaitu $\mu_{\text{rendah}} = 0$, $\mu_{\text{sedang}} = 0$, $\mu_{\text{tinggi}} = 1$, $\mu_{\text{sangat_tinggi}} = 0$. Untuk ketinggian termasuk kategori tinggi dengan keanggotaan 100%.

Variabel jenis tanah dibagi menjadi empat himpunan fuzzy yaitu tidak peka, agak peka, peka, dan sangat peka. Kemudian didapatkan keanggotaan variabel 26 (podsolik) yaitu $\mu_{\text{tidak_peka}} = 0$, $\mu_{\text{agak_peka}} = 0$, $\mu_{\text{peka}} = 0,8$, $\mu_{\text{sangat_peka}} = 0,2$. Untuk jenis tanah termasuk kategori peka dengan keanggotaan 80% dan sangat peka dengan keanggotaan 20%.

Variabel tutupan lahan dibagi menjadi empat himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Berdasarkan pembagian tersebut, diperoleh nilai keanggotaan untuk variabel tutupan lahan dengan kode 8 yang merepresentasikan hutan sebagai berikut $\mu_{\text{rendah}} = 0,4$, $\mu_{\text{sedang}} = 0,6$, $\mu_{\text{tinggi}} = 0$, $\mu_{\text{sangat_tinggi}} = 0$. Untuk tutupan lahan termasuk kategori rendah dengan keanggotaan 40% dan sedang dengan keanggotaan 60%.

B. Pembahasan

Selanjutnya dilakukan penentuan proses penalaran serta penerapan fungsi implikasi yang digunakan, yaitu fungsi MIN, untuk menentukan α predikat diambil dari variabel input yang keanggotaannya minimum.

- a. [R1] Jika curah hujan TINGGI dan kemiringan DATAR dan ketinggian TINGGI dan jenis tanah PEKA dan tutupan lahan RENDAH, MAKA kerawanan RAWAN
 $\alpha \text{ predikat}_1 = \mu_{\text{hujan TINGGI}}[x] \cap \mu_{\text{miring DATAR}} \cap \mu_{\text{ketinggian TINGGI}} \cap \mu_{\text{tanah PEKA}} \cap \mu_{\text{lahan RENDAH}}$
 $= \text{MIN}(1; 0,4; 1; 0,8; 0,4) = 0,4$

- b. [R2] Jika curah hujan TINGGI dan kemiringan DATAR dan ketinggian TINGGI dan jenis tanah PEKA dan tutupan lahan SEDANG, MAKA kerawanan RAWAN
 $\alpha \text{ predikat}_2 = \mu_{\text{hujan TINGGI}}[x] \cap \mu_{\text{miring DATAR}} \cap \mu_{\text{tinggi TINGGI}} \cap \mu_{\text{tanah PEKA}} \cap \mu_{\text{lahan SEDANG}} = \text{MIN}(1; 0,4; 1; 0,8; 0,6) = 0,4$
- c. [R3] Jika curah hujan TINGGI dan kemiringan DATAR dan ketinggian TINGGI dan jenis tanah SANGAT PEKA dan tutupan lahan RENDAH, MAKA kerawanan RAWAN
 $\alpha \text{ predikat}_3 = \mu_{\text{hujan TINGGI}}[x] \cap \mu_{\text{miring DATAR}} \cap \mu_{\text{tinggi TINGGI}} \cap \mu_{\text{tanah SANGAT PEKA}} \cap \mu_{\text{lahan RENDAH}} = \text{MIN}(1; 0,4; 1; 0,2; 0,4) = 0,2$
- d. [R4] Jika curah hujan TINGGI dan kemiringan DATAR dan ketinggian TINGGI dan jenis tanah SANGAT PEKA dan tutupan lahan SEDANG, MAKA kerawanan RAWAN
 $\alpha \text{ predikat}_4 = \mu_{\text{hujan TINGGI}}[x] \cap \mu_{\text{miring DATAR}} \cap \mu_{\text{tinggi TINGGI}} \cap \mu_{\text{tanah SANGAT PEKA}} \cap \mu_{\text{lahan SEDANG}} = \text{MIN}(1; 0,4; 1; 0,2; 0,6) = 0,4$
- e. [R5] Jika curah hujan TINGGI dan kemiringan LANDAI dan ketinggian TINGGI dan jenis tanah PEKA dan tutupan lahan RENDAH, MAKA kerawanan RAWAN
 $\alpha \text{ predikat}_5 = \mu_{\text{hujan TINGGI}}[x] \cap \mu_{\text{miring LANDAI}} \cap \mu_{\text{tinggi TINGGI}} \cap \mu_{\text{tanah PEKA}} \cap \mu_{\text{lahan RENDAH}} = \text{MIN}(1; 0,6; 1; 0,8; 0,4) = 0,4$
- f. [R6] Jika curah hujan TINGGI dan kemiringan LANDAI dan ketinggian TINGGI dan jenis tanah PEKA dan tutupan lahan SEDANG, MAKA kerawanan RAWAN
 $\alpha \text{ predikat}_6 = \mu_{\text{hujan TINGGI}}[x] \cap \mu_{\text{miring LANDAI}} \cap \mu_{\text{tinggi TINGGI}} \cap \mu_{\text{tanah PEKA}} \cap \mu_{\text{lahan SEDANG}} = \text{MIN}(1; 0,6; 1; 0,8; 0,6) = 0,6$
- g. [R7] Jika curah hujan TINGGI dan kemiringan LANDAI dan ketinggian TINGGI dan jenis tanah SANGAT PEKA dan tutupan lahan RENDAH, MAKA kerawanan AWAN
 $\alpha \text{ predikat}_7 = \mu_{\text{hujan TINGGI}}[x] \cap \mu_{\text{miring LANDAI}} \cap \mu_{\text{tinggi TINGGI}} \cap \mu_{\text{tanah SANGAT PEKA}} \cap \mu_{\text{lahan RENDAH}} = \text{MIN}(1; 0,6; 1; 0,2; 0,4) = 0,2$
- h. [R8] Jika curah hujan TINGGI dan kemiringan LANDAI dan ketinggian TINGGI dan jenis tanah SANGAT PEKA dan tutupan lahan SEDANG, MAKA kerawanan RAWAN
 $\alpha \text{ predikat}_8 = \mu_{\text{hujan TINGGI}}[x] \cap \mu_{\text{miring LANDAI}} \cap \mu_{\text{tinggi TINGGI}} \cap \mu_{\text{tanah SANGAT PEKA}} \cap \mu_{\text{lahan SEDANG}} = \text{MIN}(1; 0,6; 1; 0,2; 0,6) = 0,2$

Selanjutnya, komposisi aturan ditentukan berdasarkan nilai maksimum dari setiap aturan yang dikombinasikan. Aturan yang digunakan harus memenuhi persyaratan $\alpha \text{ predikat} \neq 0$, sebagai berikut:

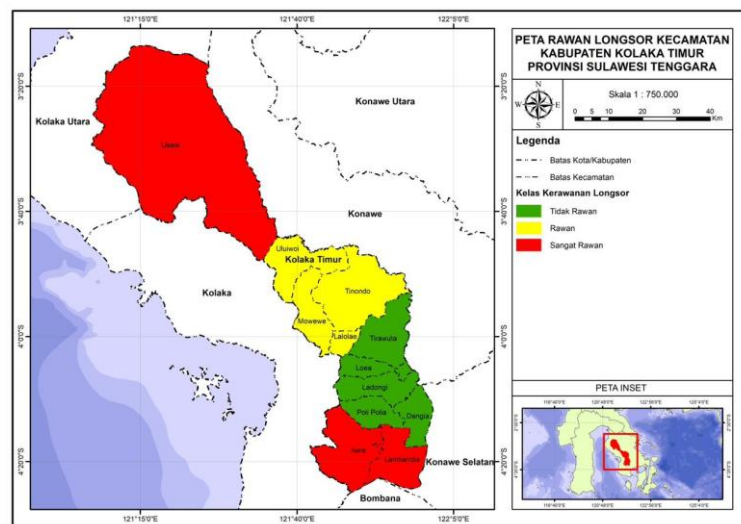
$$\begin{aligned} \mu_{sf}(x) &= \text{MAX} \{ \mu_{\text{rawan}}(x) \} \\ &= \text{MAX}(0,4; 0,4; 0,2; 0,4; 0,4; 0,6; 0,2; 0,2) = 0,6 \end{aligned} \quad (24)$$

Tahap akhir dari proses ini adalah defuzzifikasi, yaitu proses mengonversi himpunan fuzzy menjadi nilai tegas (crisp). Penelitian ini menggunakan metode Centroid sebagai teknik defuzzifikasi. Berikut merupakan perhitungan defuzzifikasi yang digunakan:

$$Z^* = \frac{\int \mu_x(z) \cdot z dz}{\int \mu_x(z) dz} = \frac{2,872}{1,412} = 2,033 \quad (25)$$

Nilai 2,033 termasuk pada kelas rawan.

Terdapat tiga kelas kerawanan yang diberi warna berbeda-beda, merah untuk sangat rawan pada kecamatan Uessi, Aere, dan Lambandia. Warna kuning untuk rawan daerah Kecamatan Uluiwoi, Tinondo, Mowewe, dan Lalolae. Warna hijau untuk tidak rawan daerah Kecamatan Tirawuta, Loea, Ladongi, Poli-Polia, dan Dangia, untuk lebih jelas lihat **Gambar 8**.



Gambar 8 Peta Rawan Longsor Kabupaten Kolaka Timur

Tabel 7. Validasi hasil kerawanan longsor dengan kejadian

No	Kecamatan	Kerawanan	
		Prakiraan	Kejadian
1	Ueesi	Sangat Rawan	Ada
2	Uluiwoi	Rawan	Tidak
3	Tinondo	Rawan	Ada
4	Tirawuta	Tidak Rawan	Tidak
5	Mowewe	Rawan	Ada
6	Lalolae	Rawan	Tidak
7	Loea	Tidak Rawan	Tidak
8	Ladongi	Tidak Rawan	Tidak
9	Poli-Polia	Tidak Rawan	Tidak
10	Dangia	Tidak Rawan	Tidak
11	Aere	Sangat Rawan	Ada
12	Lambandia	Sangat Rawan	Ada

Validasi hasil kerawanan yang dihasilkan menggunakan logika fuzzy dengan menggunakan cara membandingkan data kejadian di BPBD Kolka Timur. Berdasarkan tabel di atas dari 12 kabupaten terdapat 10 kabupaten yang sesuai antara kerawanan logika fuzzy dengan data kejadian di lapangan. Hal tersebut menghasilkan tingkat keakuratan yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 83,3%. Penelitian ini berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya dimana menggunakan lima parameter inputan, yaitu: curah hujan, ketinggian, kemiringan, jenis tanah, dan tutupan lahan dimana pada penelitian lain hanya menggunakan beberapa parameter. Kemudian metode yang digunakan adalah logika fuzzy dimana metode ini cocok untuk data yang tidak memiliki ketidakpastian dan mudah dalam menentukan rule, serta lokasi penelitian yang masih kurang terekspose yaitu di Kabupaten Kolaka Timur yang menjadi jalan penghubung menuju ke ibukota provinsi.

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, Kolaka Timur memiliki karakteristik yang berbeda-beda di tiap kecamatan. Logika fuzzy dapat digunakan untuk menentukan tingkat kerawanan longsor di Kabupaten Kolaka Timur. Terdapat lima parameter yang dijadikan sebagai data masukan, yaitu curah hujan, kemiringan,

ketinggian, jenis tanah, serta tutupan lahan. Parameter keluaran yang digunakan terdiri dari tiga kelas, yaitu: tidak rawan, rawan, dan sangat rawan. Untuk hasil akhir terdapat tiga kecamatan yang berada di kelas sangat rawan yaitu Uessi, Aere, dan Lambandia. Terdapat empat kecamatan di kelas rawan yaitu Uluiwoi, Tinondo, Mowewe, dan Lalolae. Terdapat lima kecamatan di kelas tidak rawan yaitu Tirawuta, Loea, Ladongi, Poli-Polia, dan Dangia. Tingkat akurasi hasil pemodelan logika fuzzy menunjukkan kesesuaian yang cukup baik dibandingkan dengan data kejadian longsor dari BPBD dengan keakuratan 83,3%.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar pengembangan penelitian selanjutnya dapat menambahkan parameter lain yang berpengaruh terhadap kejadian longsor, seperti kondisi geologi detail, jarak terhadap sungai, dan aktivitas manusia, sehingga hasil pemodelan menjadi lebih akurat. Selain itu, penggunaan metode lain sebagai pembanding, seperti machine learning atau metode statistik, juga dapat dilakukan untuk menguji tingkat keakuratan model logika fuzzy. Bagi pemerintah daerah, hasil penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam penyusunan kebijakan mitigasi bencana, penataan ruang wilayah, serta peningkatan sistem peringatan dini di daerah rawan longsor, sehingga risiko kerugian akibat bencana dapat diminimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, U., Barkey, R. A., Wahyuni, W., & Matandung, K. (2018). Karakteristik tanah longsor di daerah aliran sungai Tangka. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*, 203–214.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2021). *Kajian risiko bencana nasional Provinsi Sulawesi Tenggara 2022–2026*. BNPB.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah. (2023). *Peta kawasan rawan bencana (PRB) 2023–2028 Kabupaten Kolaka Timur*. BPBD Kolaka Timur.
- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah. (2021). *RPJMD Kabupaten Kolaka Timur*. Bappeda Kolaka Timur.
- Effendi, A. Y., & Hariyanto, T. (2016). Pembuatan peta daerah rawan bencana tanah longsor dengan menggunakan metode fuzzy logic (Studi kasus: Kabupaten Probolinggo). *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), A714–A722.
- Fatiatun, F., Firdaus, F., Jumini, S., & Adi, N. P. (2019). Analisis bencana tanah longsor serta mitigasinya. *Jurnal Kajian Pendidikan Sains*, 5(2), 134–139.
- Fianti, F., Rahayuningsih, O. D., Aryani, N. P., & Yulianti, I. (2020). Fuzzy logic for landslide susceptibility level in Kecamatan Ungaran Barat. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(4), 042095.
- Irawan, M. D., & Herviana, H. (2018). Implementasi logika fuzzy dalam menentukan jurusan bagi siswa baru sekolah menengah kejuruan (SMK) Negeri 1 Air Putih. *Jurnal Teknologi Informasi*, 2(2), 129–137.
- Ismarnita Wilda, I., & Respitawulan, R. (2023). Penerapan logika fuzzy dalam menentukan tingkat kerawanan longsor di suatu wilayah. *Jurnal Riset Matematika*, 3(1), 45–54.
- Saputra, M. A., Rayes, M. L., & Nita, I. (2019). Pemetaan prediksi sebaran kerentanan longsor di Kecamatan Tawangmangu Kabupaten Karanganyar menggunakan pendekatan fuzzy logic. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 6(2), 1353–1359.
- Setiawan, A., Yanto, B., & Yasdomi, K. (2018). *Logika fuzzy dengan MATLAB*. Jayapangus Press.
- Triani, T., & Bulaka, B. (2024). Identifikasi daerah rawan longsor di Kecamatan Kolaka Kabupaten Kolaka. *Jurnal Matematika, Sains, dan Pembelajarannya*, 10(1), 51–59.