

ANALISIS TINGKAT KERAWANAN BENCANA ALAM BANJIR DI KABUPATEN PURBALINGGA DENGAN FUZZY LOGIC

ANALYSIS OF FLOOD VULNERABILITY LEVEL IN PURBALINGGA REGENCY WITH FUZZY LOGIC

Nisrina Amaliyah Wibowo*, Agus Maman Abadi

Jurusan Pendidikan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia

*email korespondensi: nisrinaamaliyah.2018@student.uny.ac.id

Abstrak

Banjir merupakan peristiwa atau keadaan terendahnya suatu daerah karena volume air meningkat yang dapat terjadi di wilayah perkotaan atau perdesaan. Salah satu upaya untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan dari bencana banjir adalah dengan mengetahui klasifikasi tingkat kerawanan bencana banjir. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui analisis tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Purbalingga dengan *fuzzy logic*. Untuk menentukan tingkat kerawanan bencana alam banjir digunakan parameter penyebab banjir di antaranya data curah hujan, jenis tanah, kemiringan lereng, ketinggian wilayah, dan tutupan lahan. Data tersebut diolah dengan *overlay* sehingga diperoleh data *input* untuk proses *fuzzy logic* Mamdani dengan langkah-langkah di antaranya pembentukan himpunan *fuzzy*, basis aturan, fungsi implikasi MIN, komposisi aturan dengan MAX, dan *defuzzifikasi* sehingga diperoleh tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Purbalingga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kabupaten Purbalingga memiliki tingkat kerawanan rendah sebanyak 25 wilayah dengan luas 57,5467Ha, kerawanan sedang sebanyak 317 wilayah dengan luas 2303,385Ha, kerawanan tinggi sebanyak 756 wilayah dengan luas 11232,79Ha dan kerawanan sangat tinggi sebanyak 188 wilayah dengan luas 5595,286Ha.

Kata kunci: *fuzzy logic*, kerawanan, banjir, metode *storie*.

Abstract

Flood is an event or condition in which an area is submerged due to increased water volume which can occur in urban or rural areas. One of the efforts to minimize the impact of floods is to determine the classification of the level of vulnerability to flooding. The purpose of this study is to determine the level of flood vulnerability analysis in Purbalingga Regency with fuzzy logic. In determining the level of vulnerability to natural disasters, flood-causing parameters were used including data on rainfall, soil type, slope, area height, and land cover. The data was processed by overlaying so that the input data for the Mamdani fuzzy logic process was obtained with the steps including the formation of fuzzy sets, rule base, MIN implication function, composition of rules with MAX, and defuzzification in order to obtain the level of flood vulnerability in Purbalingga Regency. The results showed that Purbalingga Regency has a low vulnerability level for 25 region with an area of 57.5467Ha, 317 region of moderate vulnerability with an area of 2303.385Ha, high vulnerability for 756 region with an area of 11232.79Ha and very high vulnerability for 188 region with an area of 5595,286Ha.

Keywords: *fuzzy logic*, flood vulnerability, *storie*. method

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang terletak pada pertemuan 3 lempeng yaitu Lempeng Indo-Australia, Pasifik dan Eurasia [1]. Selain itu, Indonesia masuk ke dalam daerah beriklim tropis sehingga mempunyai dua musim yaitu musim kemarau dan musim hujan [2]. Hal ini menyebabkan Indonesia menjadi rawan terhadap bencana alam. Bencana adalah peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan oleh faktor alam dan/atau faktor non alam maupun faktor manusia, sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak

psikologis [3]. Salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia adalah banjir. Banjir merupakan peristiwa atau keadaan dimana terendahnya suatu daerah atau daratan karena volume air yang meningkat [4].

Banjir adalah hasil interaksi antar manusia dengan alam dan sistem alam yang timbul dari proses mencoba menggunakan lahan untuk berbagai aktivitas [5]. Bencana banjir disebabkan oleh dua kategori yaitu banjir alami dan banjir akibat aktivitas manusia. Banjir alami dipengaruhi oleh curah hujan, fisiografi, erosi dan sedimentasi, kapasitas sungai, kapasitas drainase dan pengaruh air pasang. Sedangkan, akibat aktivitas manusia disebabkan oleh perubahan kondisi daerah aliran sungai, kawasan pemukiman di sekitar bantaran,

rusaknya drainase lahan, kerusakan bangunan pengendali banjir, rusaknya hutan, dan perencanaan sistem pengendali banjir yang tidak tepat [6]. Bencana banjir dapat terjadi di wilayah perkotaan atau perdesaan, salah satunya di Kabupaten Purbalingga.

Kabupaten Purbalingga menduduki peringkat ke-9 dari 35 Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Tengah dengan nilai 159,2 kategori kelas risiko tinggi terhadap bencana alam [7]. Pada tahun 2021 di Kabupaten Purbalingga tercatat terjadi banjir pada 2 kecamatan yaitu Kecamatan Kaligondang dan Kecamatan Kemangkong [8]. Pada tahun sebelumnya banjir juga mendominasi di beberapa daerah di Purbalingga, seperti Desa Jetis, Gambarsari, Muntang, Kalialang, Sumilir dan Toyareja [9]. Meskipun tidak terdapat korban jiwa, bencana banjir menyebabkan kerugian yang cukup besar.

Salah satu upaya untuk memperkecil ancaman resiko bencana adalah dengan kegiatan mitigasi berupa pemetaan bencana [10]. Pemetaan bencana dapat dilakukan dengan mengklasifikasikan daerah rawan banjir. Metode yang dapat digunakan dalam mengklasifikasikan daerah rawan banjir adalah metode *fuzzy logic*. Metode *fuzzy logic* merupakan sistem cerdas yang dapat digunakan sebagai sistem kontrol dan pemecahan masalah yang dapat digunakan untuk mendeteksi daerah rawan bencana [11]. Metode *fuzzy* memungkinkan toleransi terhadap *input*, proses dan *output* yang bersifat tidak akurat (*imprecision*), tidak pasti (*uncertainty*) dan setengah benar (*partial truth*) sehingga mampu memberikan hasil yang maksimal [12].

Penelitian ini menggunakan metode *fuzzy logic* Mamdani karena memiliki ketepatan dan keakuratan yang lebih tinggi dari metode Sugeno maupun metode Tsukamoto [13]. Dalam menentukan tingkat kerawanan banjir dengan *fuzzy logic* Mamdani diperlukan bantuan *software* ArcGIS dalam proses *overlay* parameter penyebab banjir dan pembentukan peta tingkat kerawanan banjir yang dihasilkan oleh pengolahan Matlab dengan metode *fuzzy logic*. Penelitian ini juga menggunakan metode *storie* sebagai perbandingan dengan metode *fuzzy logic*. Metode *storie* adalah metode semi kuantitatif untuk penilaian tanah berdasarkan keadaan tanah yang digunakan untuk menentukan potensi pemanfaatan tanah dan kapasitas produktivitas tanaman [14]. Metode *storie* dapat digunakan untuk menentukan tingkat kerentanan bencana alam menggunakan sistem informasi geografis.

Beberapa penelitian menggunakan metode logika *fuzzy* di antaranya penelitian tingkat kerawanan tanah longsor di Yogyakarta dengan parameter kemiringan lereng, curah hujan, jenis tanah, dan penggunaan lahan. Penelitian tersebut menghasilkan akurasi mencapai 100% dengan tingkat kerawanan rendah seluas 158.371,86 Ha, kerawanan sedang seluas 148.984,64 Ha, kerawanan tinggi seluas 7.969,18 Ha, dan kerawanan sangat tinggi seluas 53,64 Ha [15]. Selain itu, penelitian menggunakan metode indeks *storie* di Kebumen, Jawa Tengah yang menghasilkan potensi longsor sedang mendominasi 60% daerah di Kabupaten Kebumen bagian tengah dari barat ke timur, potensi longsor rendah mencapai 30% berada pada bagian selatan, dan potensi sangat rendah sekitar 10% berada pada wilayah utara dan selatan [16]. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan analisis tingkat kerawanan banjir dengan model *fuzzy logic* di Kabupaten Purbalingga. Hasil akurasi model *fuzzy logic* dibandingkan dengan metode *storie*.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan 2 metode yaitu metode *storie* dengan software ArcGIS dan metode *fuzzy logic* dengan software Matlab. Data penelitian diperoleh dari BPBD Kabupaten Purbalingga dalam rentang tahun 2018-2021. Sebelum melakukan pengolahan data dilakukan pembobotan pada masing-masing variabel sesuai Tabel 1 - Tabel 5.

Tabel 1. Klasifikasi Curah Hujan

| Curah hujan (mm/th) | Kategori | Nilai |
|---------------------|---------------|-------|
| <3390 | Sangat Rendah | 1 |
| 3390-3430 | Rendah | 2 |
| 3430-3470 | Sedang | 3 |
| 3470-3510 | Tinggi | 4 |
| >3510 | Sangat Tinggi | 5 |

Tabel 2. Klasifikasi Jenis Tanah

| Jenis Tanah | Kategori | Nilai |
|---------------|-------------|-------|
| Litosol | Sangat Peka | 1 |
| Grumosol | Peka | 2 |
| Mediterranean | Sedang | 3 |
| Latosol | Agak Peka | 4 |
| Aluvial | Tidak Peka | 5 |

Tabel 3. Klasifikasi Kemiringan Lereng

| Kemiringan (%) | Kategori | Nilai |
|----------------|----------|-------|
|----------------|----------|-------|

| | | |
|-------|--------------|---|
| 0-8 | Datar | 5 |
| 8-15 | Landai | 4 |
| 15-25 | Agak Curam | 3 |
| 25-45 | Curam | 2 |
| >45 | Sangat Curam | 1 |

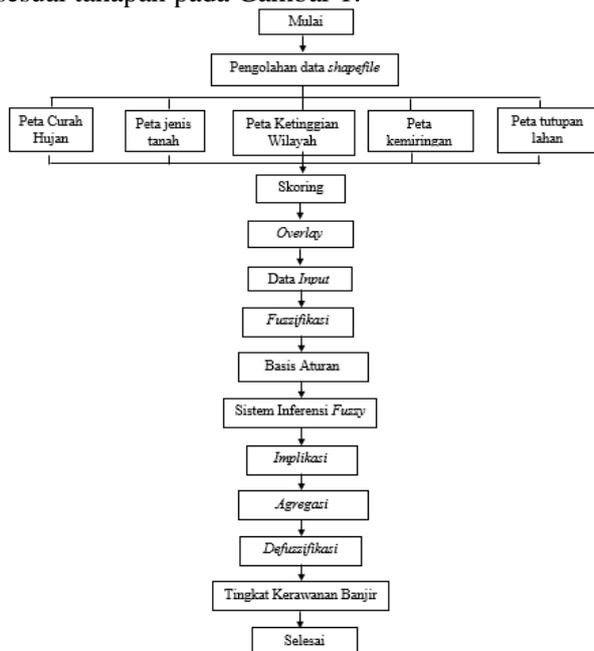
Tabel 4. Klasifikasi Ketinggian Wilayah

| Ketinggian (mdpl) | Kategori | Nilai |
|-------------------|---------------|-------|
| 0-25 | Sangat Rendah | 5 |
| 25-100 | Rendah | 4 |
| 100-500 | Sedang | 3 |
| 5000-1000 | Tinggi | 2 |
| >1000 | Sangat Tinggi | 1 |

Tabel 5. Klasifikasi Jenis Lahan

| Jenis Lahan | Kategori | Nilai |
|------------------------------|-------------|-------|
| Semak Belukar, Padang Rumput | Sangat Baik | 1 |
| Perkebunan, Tegalan | Baik | 2 |
| Sawah | Agak Baik | 3 |
| Pemukiman | Buruk | 4 |

Data *shapefile* parameter penyebab banjir diolah menggunakan *overlay* pada *software* ArcGIS untuk mendapatkan data *input* untuk selanjutnya diolah dengan metode *fuzzy logic* sehingga didapatkan tingkat kerawanan banjir sesuai tahapan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perancangan tingkat kerawanan banjir

Hasil dan Pembahasan

Tingkat kerawanan dengan GIS

Untuk menentukan tingkat kerawanan banjir dengan *ArcGis* dilakukan proses *overlay* dengan menggabungkan 5 peta parameter penyebab banjir di antaranya peta curah hujan, peta jenis tanah, peta kemiringan lereng, peta ketinggian wilayah dan peta tutupan lahan. Proses *overlay* menghasilkan 1286 data wilayah pada 5 kecamatan di Kabupaten Purbalingga. Untuk menentukan tingkat kerawanan banjir digunakan metode *storie* dengan persamaan (1) berikut :

$$L = A \times \frac{B}{10} \times \frac{C}{10} \times \frac{D}{10} \times \frac{E}{10} \tag{1}$$

Berdasarkan persamaan (1) dapat ditunjukkan bahwa L merupakan tingkat kerawanan, A merupakan curah hujan, B merupakan jenis tanah, C merupakan kemiringan lereng, D merupakan ketinggian wilayah dan E merupakan tutupan lahan

Setelah mendapatkan hasil *overlay* dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (1) sehingga dihasilkan tingkat kerawanan banjir dengan metode *storie* pada Tabel 6. Pada variabel curah hujan, jenis tanah, dan tutupan lahan semakin besar bobot maka semakin tinggi pengaruh terhadap tingkat kerawanan banjir. Sedangkan pada variabel kemiringan lereng dan ketinggian wilayah semakin besar bobot maka semakin rendah pengaruh terhadap tingkat kerawanan banjir.

Tingkat Kerawanan dengan Fuzzy Logic

Untuk menentukan tingkat kerawanan banjir dengan metode *fuzzy logic* digunakan data hasil *overlay* sebanyak 1286 data titik wilayah. Setelah itu dilakukan tujuh langkah untuk mendapatkan tingkat kerawanan banjir. Langkah pertama yaitu menentukan variabel *input* dan variabel *output*. Variabel *input* terdiri dari 5 parameter penyebab banjir. Sedangkan variabel *output* merupakan tingkat kerawanan banjir.

Peng-*input*-an data variabel *input* dan *output* dilakukan pada Toolbox FIS Editor begitu juga dalam menentukan metode MIN pada proses *implikasi*, metode MAX pada *agregasi*, dan metode *centroid* pada *defuzzifikasi*. Langkah kedua menentukan himpunan semesta dari himpunan *fuzzy* sesuai Tabel 1 sampai Tabel 5 dari masing-masing variabel.

Tabel 6. Pembobotan Tingkat Kerawanan Banjir dengan Metode *Storie*

| No | Kabupaten | Kecamatan | Curah Hujan | Jenis Tanah | Kemiringan Lereng | Ketinggian Wilayah | Tutupan Lahan | L | Tingkat Kerawanan |
|------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------------|--------------------|---------------|-------|-------------------|
| 1 | Bukateja | Bukateja | 3 | 5 | 1 | 2 | 1 | 0,003 | Tidak Rawan |
| 2 | Bukateja | Bukateja | 4 | 5 | 1 | 2 | 1 | 0,004 | Agak Rawan |
| 3 | Bukateja | Bukateja | 2 | 5 | 1 | 2 | 2 | 0,004 | Agak Rawan |
| 4 | Bukateja | Bukateja | 3 | 5 | 1 | 2 | 2 | 0,006 | Agak Rawan |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1284 | Purbalingga | Toyareja | 2 | 5 | 2 | 2 | 3 | 0,012 | Agak Rawan |
| 1285 | Purbalingga | Toyareja | 2 | 5 | 1 | 2 | 2 | 0,004 | Agak Rawan |
| 1286 | Purbalingga | Toyareja | 3 | 5 | 1 | 2 | 2 | 0,006 | Agak Rawan |

Tabel 7. Himpunan Universal

| Variabel | Himpunan Semesta |
|--------------------|------------------|
| Curah Hujan | [3350,3550] |
| Jenis Tanah | [0,6] |
| Kemiringan Lereng | [0,55] |
| Ketinggian Wilayah | [0,1400] |
| Tutupan Lahan | [0,5] |

Langkah ketiga yaitu menentukan fungsi keanggotaan pada masing-masing variabel. Fungsi keanggotaan dapat dibangun melalui *Membership function Editor*. Pada himpunan *fuzzy* variabel curah hujan memiliki fungsi keanggotaan (2)–(6):

$$\mu_{\text{sangat rendah}} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 3370 \\ \frac{3410-x}{40} & ; 3370 \leq x \leq 3410 \\ 0 & ; x \geq 3410 \end{cases} \quad (2)$$

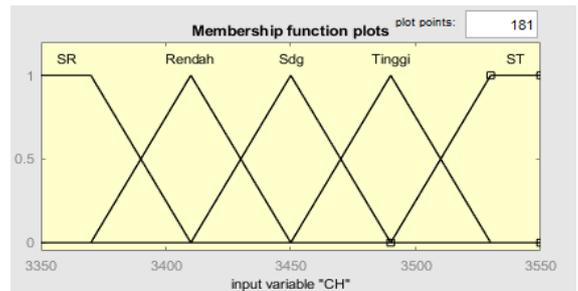
$$\mu_{\text{rendah}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3370 \text{ atau } x \geq 3450 \\ \frac{x-3370}{40} & ; 3370 \leq x \leq 3410 \\ \frac{3450-x}{40} & ; 3410 \leq x \leq 345 \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{\text{sedang}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3410 \text{ atau } x \geq 3490 \\ \frac{x-3410}{40} & ; 3410 \leq x \leq 3450 \\ \frac{3490-x}{40} & ; 3450 \leq x \leq 349 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{\text{tinggi}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3450 \text{ atau } x \geq 3530 \\ \frac{x-3450}{40} & ; 3450 \leq x \leq 3490 \\ \frac{3530-x}{40} & ; 3490 \leq x \leq 353 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{\text{sangat tinggi}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3490 \\ \frac{x-3490}{40} & ; 3490 \leq x \leq 3530 \\ 1 & ; x \geq 3530 \end{cases} \quad (6)$$

Dengan grafik fungsi keanggotaan variabel curah hujan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Fungsi keanggotaan curah hujan

Untuk himpunan *fuzzy* variabel jenis tanah memiliki fungsi keanggotaan (7)–(11):

$$\mu_{\text{sangat peka}} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 1 \\ \frac{2-x}{1} & ; 1 \leq x \leq 2 \\ 0 & ; x \geq 2 \end{cases} \quad (7)$$

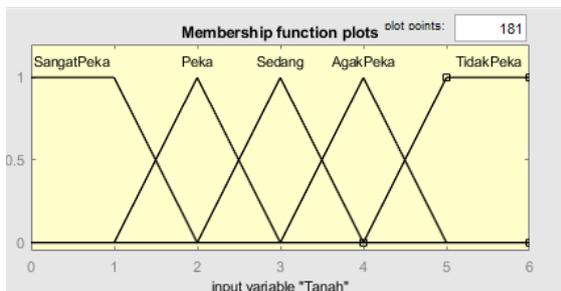
$$\mu_{\text{peka}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 1 \text{ atau } x \geq 3 \\ \frac{x-1}{1} & ; 1 \leq x \leq 2 \\ \frac{3-x}{1} & ; 2 \leq x \leq 3 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{\text{sedang}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 2 \text{ atau } x \geq 4 \\ \frac{x-2}{1} & ; 2 \leq x \leq 3 \\ \frac{4-x}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{\text{agak peka}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3 \text{ atau } x \geq 5 \\ \frac{x-3}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \\ \frac{5-x}{1} & ; 4 \leq x \leq 5 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{\text{tidak peka}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 4 \\ \frac{x-4}{1} & ; 4 \leq x \leq 5 \\ 1 & ; x \geq 5 \end{cases} \quad (11)$$

Dengan grafik fungsi keanggotaan variabel jenis tanah ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Fungsi keanggotaan jenis tanah

Untuk himpunan fuzzy variabel kemiringan lereng memiliki fungsi keanggotaan (12)–(16):

$$\mu_{datar} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 4 \\ \frac{11,5-x}{7,5} & ; 4 \leq x \leq 11,5 \\ 0 & ; x \geq 11,5 \end{cases} \quad (12)$$

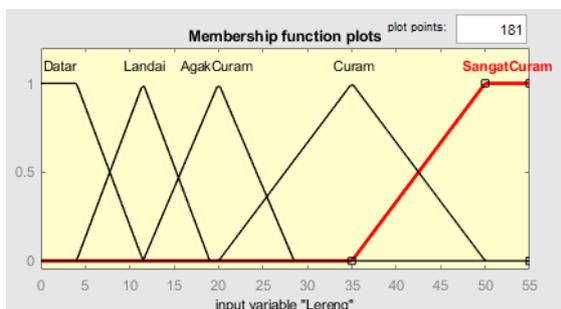
$$\mu_{landai} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 4 \text{ atau } x \geq 19 \\ \frac{x-4}{7,5} & ; 4 \leq x \leq 11,5 \\ \frac{19-x}{7,5} & ; 11,5 \leq x \leq 19 \end{cases} \quad (13)$$

$$\mu_{agak\ curam} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 11,5 \text{ atau } x \geq 28,5 \\ \frac{x-11,5}{8,5} & ; 11,5 \leq x \leq 20 \\ \frac{28,5-x}{8,5} & ; 20 \leq x \leq 28,5 \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_{curam} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 20 \text{ atau } x \geq 50 \\ \frac{x-20}{15} & ; 20 \leq x \leq 35 \\ \frac{50-x}{15} & ; 35 \leq x \leq 50 \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu_{sangat\ curam} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 35 \\ \frac{x-35}{15} & ; 35 \leq x \leq 50 \\ 1 & ; x \geq 50 \end{cases} \quad (16)$$

Dengan grafik fungsi keanggotaan variabel kemiringan lereng ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Fungsi keanggotaan lereng

Untuk himpunan fuzzy variabel ketinggian wilayah memiliki fungsi keanggotaan (17)–(21):

$$\mu_{sangat\ rendah} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 12,5 \\ \frac{62,5-x}{50} & ; 12,5 \leq x \leq 62,5 \\ 0 & ; x \geq 62,5 \end{cases} \quad (17)$$

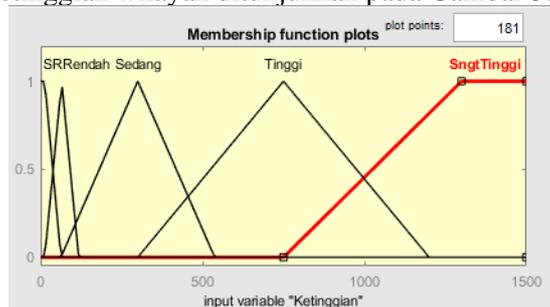
$$\mu_{rendah} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 12,5 \text{ atau } x \geq 117,5 \\ \frac{x-12,5}{50} & ; 12,5 \leq x \leq 62,5 \\ \frac{112,5-x}{50} & ; 62,5 \leq x \leq 112,5 \end{cases} \quad (18)$$

$$\mu_{sedang} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 62,5 \text{ atau } x \geq 537,5 \\ \frac{x-62,5}{237,5} & ; 62,5 \leq x \leq 300 \\ \frac{537,5-x}{237,5} & ; 300 \leq x \leq 537,5 \end{cases} \quad (19)$$

$$\mu_{tinggi} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 300 \text{ atau } x \geq 1200 \\ \frac{x-300}{450} & ; 300 \leq x \leq 750 \\ \frac{1200-x}{450} & ; 750 \leq x \leq 1200 \end{cases} \quad (20)$$

$$\mu_{sangat\ tinggi} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 750 \\ \frac{x-750}{450} & ; 750 \leq x \leq 1200 \\ 1 & ; x \geq 1200 \end{cases} \quad (21)$$

Dengan grafik fungsi keanggotaan variabel ketinggian wilayah ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Fungsi keanggotaan ketinggian

Untuk himpunan fuzzy variabel tutupan lahan memiliki fungsi keanggotaan (22)–(25):

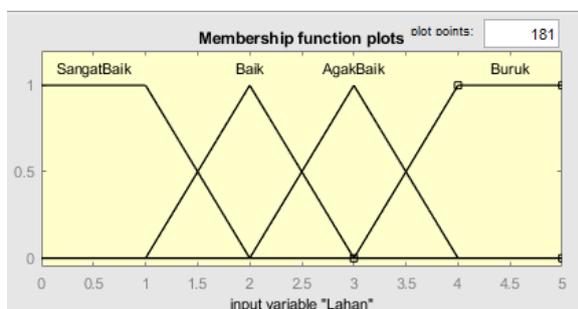
$$\mu_{sangat\ baik} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 1 \\ \frac{2-x}{1} & ; 1 \leq x \leq 2 \\ 0 & ; x \geq 2 \end{cases} \quad (22)$$

$$\mu_{baik} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 1 \text{ atau } x \geq 3 \\ \frac{x-1}{1} & ; 1 \leq x \leq 2 \\ \frac{3-x}{1} & ; 2 \leq x \leq 3 \end{cases} \quad (23)$$

$$\mu_{agak\ baik} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 2 \text{ atau } x \geq 4 \\ \frac{x-2}{1} & ; 2 \leq x \leq 3 \\ \frac{4-x}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \end{cases} \quad (24)$$

$$\mu_{beresiko} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3 \\ \frac{x-3}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \\ 1 & ; x \geq 4 \end{cases} \quad (25)$$

Dengan grafik fungsi keanggotaan variabel tutupan lahan ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Fungsi keanggotaan tutupan lahan

Untuk himpunan fuzzy variabel kerawanan banjir sebagai output memiliki fungsi keanggotaan (26) – (30):

$$\mu_{sangat\ rendah} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 1 \\ \frac{2-x}{1} & ; 1 \leq x \leq 2 \\ 0 & ; x \geq 2 \end{cases} \quad (26)$$

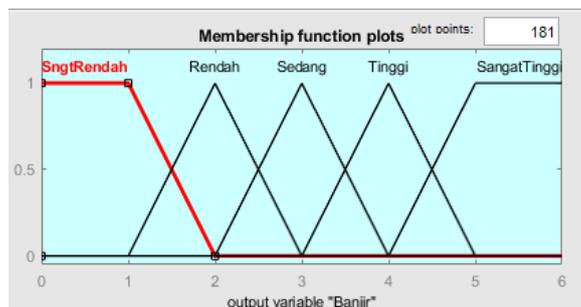
$$\mu_{rendah} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 1 \text{ atau } x \geq 3 \\ \frac{x-1}{1} & ; 1 \leq x \leq 2 \\ \frac{3-x}{1} & ; 2 \leq x \leq 3 \end{cases} \quad (27)$$

$$\mu_{sedang} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 2 \text{ atau } x \geq 4 \\ \frac{x-2}{1} & ; 2 \leq x \leq 3 \\ \frac{4-x}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \end{cases} \quad (28)$$

$$\mu_{tinggi} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3 \text{ atau } x \geq 5 \\ \frac{x-3}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \\ \frac{5-x}{1} & ; 4 \leq x \leq 5 \end{cases} \quad (29)$$

$$\mu_{sangat\ tinggi} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 4 \\ \frac{x-4}{1} & ; 4 \leq x \leq 5 \\ 1 & ; x \geq 5 \end{cases} \quad (30)$$

Dengan grafik fungsi keanggotaan variabel kerawanan banjir ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Fungsi keanggotaan kerawanan banjir

Langkah keempat yaitu menentukan basis aturan fuzzy lengkap yang didasarkan dari banyaknya himpunan fuzzy pada setiap input. Dalam penelitian ini, basis aturan fuzzy yang terbentuk sebanyak 2500 aturan. Untuk menentukan aturan digunakan bobot pada setiap parameter menggunakan persamaan (31):

$$K = \sum_{i=1}^5 x_i \quad (31)$$

Berdasarkan persamaan (31) diketahui bahwa K merupakan nilai kerawanan, x_i merupakan bobot parameter ke-i. Dengan klasifikasi $K \leq 8$ untuk tingkat kerawanan sangat rendah, $8 < K \leq 12$ untuk tingkat kerawanan rendah, $12 < K \leq 16$ untuk tingkat kerawanan sedang, $16 < K \leq 20$ untuk tingkat kerawanan tinggi, serta $K > 20$ untuk tingkat kerawanan sangat tinggi.

Basis aturan fuzzy yang terbentuk sebagai berikut :

- [1] IF (curah hujan sangat rendah) AND (jenis tanah sangat peka) AND (kemiringan lereng sangat curam) AND (ketinggian wilayah sangat tinggi) AND (tutupan lahan sangat baik) THEN (tingkat kerawanan banjir sangat rendah)
- [2] IF (curah hujan sangat rendah) AND (jenis tanah sangat peka) AND (kemiringan lereng sangat curam) AND (ketinggian wilayah sangat tinggi) AND (tutupan lahan baik) THEN (tingkat kerawanan banjir sangat rendah)
- [2] IF (curah hujan sangat rendah) AND (jenis tanah sangat peka) AND (kemiringan lereng sangat curam) AND (ketinggian wilayah sangat tinggi) AND (tutupan lahan agak baik) THEN (tingkat kerawanan banjir sangat rendah)

[2500] IF (curah hujan sangat tinggi) AND (jenis tanah tidak peka) AND (kemiringan lereng datar) AND (ketinggian wilayah sangat rendah) AND (tutupan lahan sangat baik) THEN (tingkat kerawanan banjir sangat tinggi)

Langkah kelima yaitu aplikasi fungsi *implikasi*. Dalam *fuzzy Mamdani* digunakan fungsi *implikasi* MIN atau digunakan nilai terkecil dari perhitungan nilai keanggotaan pada setiap variabel *input*. Langkah keenam yaitu komposisi antar aturan. Komposisi aturan merupakan kumpulan hasil dari semua aplikasi fungsi aturan yang berlaku dalam perhitungan suatu data *input*. Hasil implikasi fungsi menggunakan metode MAX kemudian digunakan untuk memodifikasi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikan ke dalam *output* untuk keputusan akhir.

Langkah ketujuh yaitu *defuzzifikasi*. Gabungan himpunan *fuzzy* konsekuen aturan atau maksimum dari derajat keanggotaan semua aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan domain himpunan *fuzzy*. Dalam penelitian ini digunakan metode *centroid*. Metode *centroid* adalah solusi *crisp* yang diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (z^*) dengan persamaan (32) berikut:

$$z^* = \frac{\int_z \mu(z)z dz}{\int_z \mu(z)dz} \quad (32)$$

Berikut contoh untuk menentukan tingkat kerawanan banjir pada titik data wilayah pertama di Kecamatan Bukateja dengan dengan luas 7,002 Ha dengan curah hujan 3430-3470 mm/th, jenis tanah aluvial, kemiringan lereng 0-8%, ketinggian wilayah 25-100mdpl, dan tutupan lahan padang rumput.

a. Curah hujan

Curah hujan antara 3430-3470mm/th sehingga diambil nilai tengah 3450mm/th untuk dilakukan perhitungan *fuzzifikasi* dengan persamaan (3) dan (4), sebagai berikut

$$\mu_{rendah}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3370 \text{ atau } x \geq 3450 \\ \frac{x - 3370}{40} & ; 3370 \leq x \leq 3410 \\ \frac{3450 - x}{40} & ; 3410 \leq x \leq 3450 \end{cases}$$

$$\mu_{rendah}(x) = 0$$

$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3410 \text{ atau } x \geq 3490 \\ \frac{x - 3410}{40} & ; 3410 \leq x \leq 3450 \\ \frac{3490 - x}{40} & ; 3450 \leq x \leq 3490 \end{cases}$$

$$\mu_{sedang}(x) = 1$$

Maka, curah hujan termasuk dalam himpunan *fuzzy* sedang dengan derajat keanggotaan 1.

b. Jenis tanah

Jenis tanah Aluvial memiliki nilai 5. Berikut perhitungan *fuzzifikasi* dengan persamaan (10) dan (11) untuk variabel jenis tanah.

$$\mu_{agak peka}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3 \text{ atau } x \geq 5 \\ \frac{x - 3}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \\ \frac{5 - x}{1} & ; 4 \leq x \leq 5 \end{cases}$$

$$\mu_{agak peka}(x) = 0$$

$$\mu_{tidak peka}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 4 \\ \frac{x - 4}{1} & ; 4 \leq x \leq 5 \\ 1 & ; x \geq 5 \end{cases}$$

$$\mu_{tidak peka}(x) = 1$$

Maka, jenis tanah Aluvial termasuk dalam himpunan *fuzzy* tidak peka dengan derajat keanggotaan 1.

c. Kemiringan lereng

Kecamatan Bukateja memiliki kemiringan lereng antara 0°-8° sehingga diambil nilai tengah 4°. Untuk perhitungan *fuzzifikasi* menggunakan persamaan (12).

$$\mu_{datar} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 4 \\ \frac{11,5 - x}{7,5} & ; 4 \leq x \leq 11,5 \\ 0 & ; x \geq 11,5 \end{cases}$$

$$\mu_{datar} = 1$$

Maka, kemiringan lereng termasuk dalam himpunan *fuzzy* datar dengan derajat keanggotaan 1.

d. Ketinggian wilayah

Ketinggian wilayah antara 25-100mdpl sehingga diambil nilai tengah 62,5mdpl. Untuk menghitung *fuzzifikasi* dengan persamaan (17) dan (18).

$$\mu_{\text{rendah}}^{\text{sangat}}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 12,5 \\ \frac{62,5 - x}{50} & ; 12,5 \leq x \leq 62,5 \\ 0 & ; x \geq 62,5 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{sangat rendah}}(x) = 0$$

$$\mu_{\text{rendah}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 12,5 \text{ atau } x \geq 117,5 \\ \frac{x-12,5}{50} & ; 12,5 \leq x \leq 62,5 \\ \frac{112,5-x}{50} & ; 62,5 \leq x \leq 112,5 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{rendah}} = 1$$

Maka, ketinggian wilayah termasuk dalam himpunan *fuzzy* rendah dengan derajat keanggotaan 1.

e. Tutupan lahan

Sebagian wilayah Kecamatan Bukateja tertutup lahan jenis padang rumput dengan nilai 1. Perhitungan *fuzzifikasi* dengan persamaan (22) berikut :

$$\mu_{\text{sangat baik}} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 1 \\ \frac{2 - x}{1} & ; 1 \leq x \leq 2 \\ 0 & ; x \geq 2 \end{cases}$$

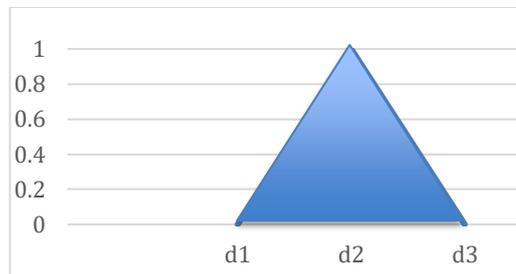
$$\mu_{\text{sangat baik}} = 1$$

Maka, tutupan lahan jenis padang rumput termasuk dalam himpunan *fuzzy* sangat baik dengan derajat keanggotaan 1. Kemudian aplikasi fungsi *implikasi* MIN atau menggunakan nilai terkecil dari perhitungan nilai keanggotaan pada setiap variabel *input*. Dari 2500 aturan pada bagian IF yang nilai keanggotaannya tidak nol semua hanya pada *rule* 1493. Sedangkan untuk aturan yang lain ada nilai keanggotaan nol. [1493] IF (curah hujan sedang) AND (jenis tanah tidak peka) AND (kemiringan lereng datar) AND (ketinggian wilayah rendah) AND (tutupan lahan sangat baik) THEN (tingkat kerawanan banjir tinggi).

$$\begin{aligned} \alpha - \text{predikat} &= \min(\mu(3450))_{\text{sedang}} \\ &\cap \min(\mu(5))_{\text{tidak peka}} \\ &\cap \min(\mu(4))_{\text{datar}} \\ &\cap \min(\mu(62,5))_{\text{rendah}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\cap \min(\mu(1))_{\text{sangat baik}} \\ &= \min(1; 1; 1; 1; 1) = 1 \end{aligned}$$

Setelah aplikasi fungsi *implikasi* dilakukan komposisi antar aturan. Hasil *implikasi* fungsi menggunakan metode MAX pada wilayah Kecamatan Bukateja ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Daerah hasil komposisi

Gambar 8 terbagi menjadi 3 bagian daerah hasil, yaitu D1, D2, dan D3. Untuk menemukan fungsi keanggotaan hasil komposisi, perlu dicari nilai pembatas d_i untuk $i = 1,2,3$. Penentuan nilai d_i didasarkan pada fungsi keanggotaan yang sesuai dengan *consequent* pada aturan *fuzzy*. Sebagai contoh pada daerah Bukateja dengan tingkat kerawanan tinggi dengan persamaan (29).

$$\mu_{\text{tinggi}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3 \text{ atau } x \geq 5 \\ \frac{x - 3}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \\ \frac{5 - x}{1} & ; 4 \leq x \leq 5 \end{cases}$$

Persamaan (29) dapat digunakan untuk mencari nilai d_i dengan derajat keanggotaan diubah berdasarkan Gambar 7, sebagai berikut:

$$\frac{d_1 - 3}{1} = 0 \rightarrow d_1 = 3$$

$$\frac{d_2 - 3}{1} = 1 \rightarrow d_2 = 4$$

$$\frac{5 - d_3}{1} = 0 \rightarrow d_3 = 5$$

Pada Gambar 8 terlihat hasil *inferensi fuzzy* berupa hasil komposisi aturan yang membentuk fungsi keanggotaan hasil komposisi aturan sesuai persamaan (31) sebagai berikut:

$$\mu(z) = \begin{cases} 0 & ; z \leq 3 \text{ atau } z \geq 5 \\ \frac{z-3}{1} & ; 3 \leq z \leq 4 \\ \frac{5-z}{1} & ; 4 \leq z \leq 5 \end{cases} \tag{33}$$

Setelah membentuk fungsi hasil komposisi dilakukan proses *defuzzifikasi* dengan metode *centroid*. Untuk perhitungan *defuzzifikasi* atau nilai

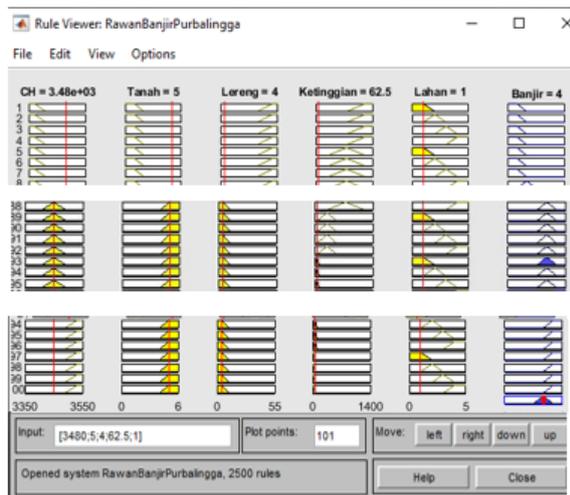
z pada wilayah Kecamatan Bukateja dengan persamaan (32).

$$z^* = \frac{\int_V z \mu_{B'}(z) dz}{\int_V \mu_{B'}(z) dz}$$

$$z^* = \frac{\int_3^4 z \left(\frac{z-3}{1}\right) dz + \int_4^5 z \left(\frac{5-z}{1}\right) dz}{\int_3^4 \left(\frac{z-3}{1}\right) dz + \int_4^5 \left(\frac{5-z}{1}\right) dz}$$

$$z^* = \frac{11/6 + 13/6}{1/2 + 1/2} = 4$$

Dari perhitungan di atas diperoleh nilai *output* 4. Nilai *output* 4 menunjukkan bahwa tingkat kerawanan tinggi sesuai pada klasifikasi fungsi keanggotaan variabel kerawanan banjir sesuai dengan persamaan (29). Sebagian wilayah Bukateja termasuk dalam wilayah dengan kerawanan tinggi. Sedangkan perhitungan dengan Matlab dilakukan dengan memasukkan 5 parameter pada kolom dialog *input Rule Viewer* dan menghasilkan *output* 4 yang menunjukkan bahwa Kecamatan Bukateja termasuk dalam wilayah dengan tingkat kerawanan banjir yang tinggi.



Gambar 9. Hasil *output* Desa Bukateja

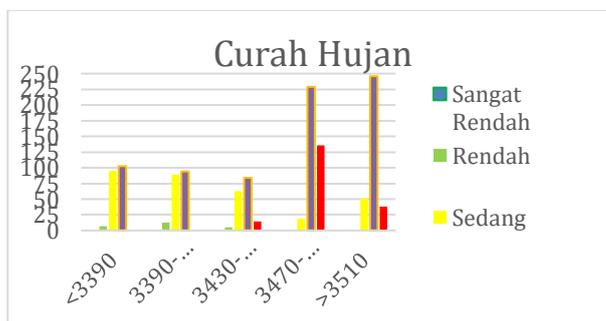
Selanjutnya untuk perhitungan seluruh titik data wilayah yang lain dilakukan menggunakan *software* Matlab untuk memperoleh hasil *output* berupa tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Purbalingga sesuai pada Tabel 8. Setelah dilakukan proses perhitungan dengan metode *fuzzy logic* Mamdani, dapat diklasifikasikan tingkat kerawanan banjir setiap kecamatan di Kabupaten Purbalingga. Dengan nilai *defuzzifikasi* sebanyak 1286 wilayah dan tingkat kerawanan banjir yang berbeda

kemudian diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerawanan pada setiap kecamatan pada Tabel 9.

Berdasarkan parameter penyebab banjir di Kabupaten Purbalingga dilakukan analisis sesuai pada Gambar 10 sampai Gambar 14. Pada Gambar 10 terlihat bahwa curah hujan di Kabupaten Purbalingga didominasi sebesar 3510mm/th yang berpengaruh sangat tinggi terhadap tingkat kerawanan banjir. Untuk tingkat kerawanan sedang dapat dipengaruhi oleh curah hujan < 3390mm/th, 3390 – 3430mm/th atau 3430 – 3470mm/th.

Tabel 8. Tingkat kerawanan banjir setiap kecamatan

| Kecamatan | Tingkat | Luas | Persentase |
|-------------|---------------|--------|------------|
| Bukateja | Sedang | 0,2756 | 0,006% |
| | Tinggi | 2732,5 | 61 % |
| Kaligondang | Sangat Tinggi | 1746,5 | 38,994% |
| | Rendah | 57,547 | 1,16% |
| | Sedang | 1793,1 | 36,15% |
| Kejobong | Tinggi | 3082,9 | 62,16% |
| | Sangat Tinggi | 26,09 | 0,53% |
| Kemangkong | Sedang | 307,8 | 8,39% |
| | Tinggi | 3072,5 | 83,73% |
| Purbalingga | Sangat Tinggi | 289,34 | 7,88% |
| | Tinggi | 1141,9 | 24,53% |
| Purbalingga | Sangat Tinggi | 3513,2 | 75,47% |
| | Sedang | 202,22 | 14,19% |
| | Tinggi | 1203,0 | 84,4% |
| | Sangat Tinggi | 20,156 | 1,41% |

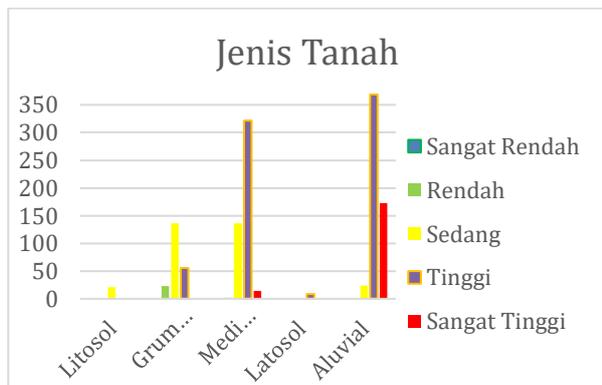


Gambar 10. Diagram parameter curah hujan

Pada Gambar 11 terlihat bahwa jenis tanah di Kabupaten Purbalingga didominasi tanah aluvial yang bersifat tidak peka sehingga berpengaruh tinggi terhadap tingkat kerawanan banjir dan tanah mediteran yang memiliki kepekaan sedang sehingga berpengaruh tinggi terhadap tingkat kerawanan banjir.

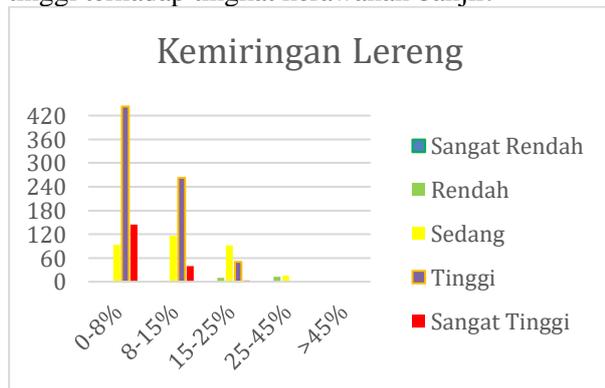
Tabel 9. Kerawanan banjir dengan logika fuzzy

| No | Kecamatan | Desa | CH (mm/th) | Tanah | KL | KW (mdpl) | Lahan | z | Tingkat |
|------|-------------|-------------|-------------|---------|-------|-----------|-----------|--------|---------|
| 1 | Bukateja | Bukateja | 3430 - 3470 | Aluvial | 0-8% | 25-100 | Pdng Rmpt | 4,0004 | Tinggi |
| 2 | Bukateja | Bukateja | 3470 - 3510 | Aluvial | 0-8% | 25-100 | Pdng Rmpt | 4,0004 | Tinggi |
| 3 | Bukateja | Karancengis | >3510 | Aluvial | 0-8% | 25-100 | Pdng Rmpt | 4,0004 | Tinggi |
| 4 | Bukateja | Karancengis | >3510 | Aluvial | 8-15% | 25-100 | Pdng Rmpt | 4,0004 | Tinggi |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1284 | Purbalingga | Jatisaba | 3350 - 3390 | Aluvial | 0-8% | 25-100 | Tgln/Ldng | 4,0004 | Tinggi |
| 1285 | Purbalingga | Toyoreja | 3390 - 3430 | Aluvial | 0-8% | 25-100 | Tgln/Ldng | 4,0004 | Tinggi |
| 1286 | Purbalingga | Toyoreja | 3430 - 3470 | Aluvial | 0-8% | 25-100 | Tgln/Ldng | 4,0004 | Tinggi |



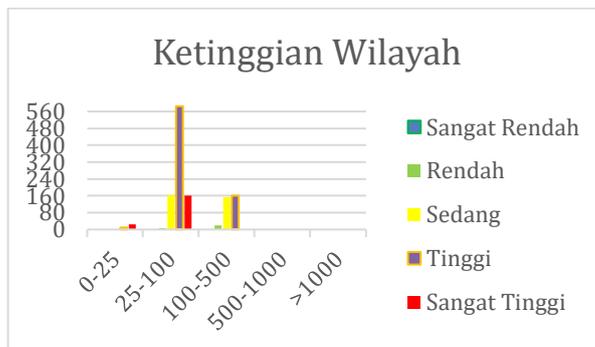
Gambar 11. Diagram parameter jenis tanah

Pada Gambar 12 terlihat bahwa kemiringan lereng di Kabupaten Purbalingga didominasi kemiringan 0 – 8% atau datar yang berpengaruh sangat tinggi terhadap tingkat kerawanan banjir dan kemiringan 8 – 15% atau landai berpengaruh tinggi terhadap tingkat kerawanan banjir.



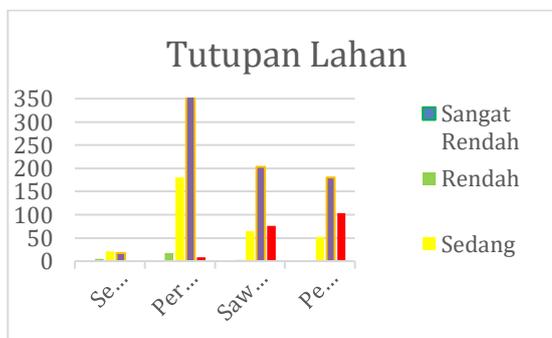
Gambar 12. Diagram parameter kemiringan

Pada Gambar 13 terlihat ketinggian wilayah di Kabupaten Purbalingga didominasi ketinggian 25–100mdpl atau ketinggian rendah yang berpengaruh tinggi terhadap tingkat kerawanan banjir.



Gambar 13. Diagram parameter ketinggian

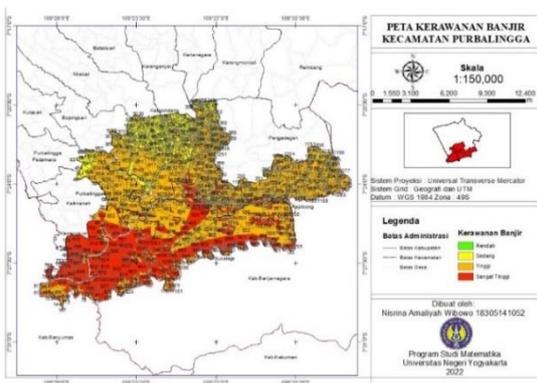
Pada Gambar 14 terlihat bahwa tutupan lahan di Kabupaten Purbalingga didominasi lahan perkebunan dan tegalan yang beresiko baik terhadap tingkat kerawanan banjir, lahan sawah beresiko agak baik terhadap tingkat kerawanan banjir dan lahan pemukiman beresiko buruk sehingga tingkat kerawanan banjir tinggi. Hasil dari pengolahan menggunakan ArcGIS diperoleh peta tingkat kerawanan banjir dengan metode *storie* di Kabupaten Purbalingga sesuai Gambar 15 dan peta tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Purbalingga dengan metode *fuzzy logic* Mamdani sesuai Gambar 16.



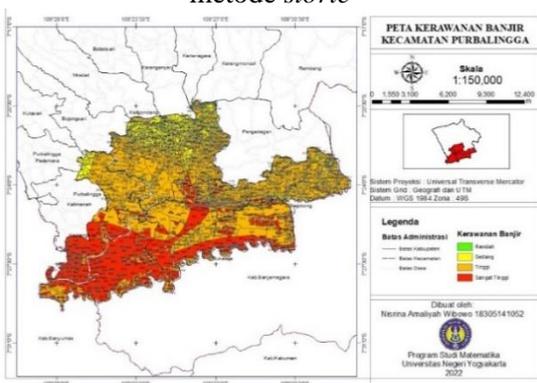
Gambar 14. Diagram parameter tutupan lahan

Tabel 10. Perbandingan antara metode *storie* dan metode *fuzzy* Mamdani

| No | Kecamatan | Desa | Luas | Metode <i>Storie</i> | | Metode <i>Fuzzy</i> | |
|------|-------------|-------------|--------------|----------------------|--------|---------------------|--------|
| | | | | Skor | Ket | Skor | Ket |
| 1 | Bukateja | Bukateja | 7,002289706 | 0,03 | Tinggi | 4,0004 | Tinggi |
| 2 | Bukateja | Bukateja | 0,039271457 | 0,04 | Tinggi | 4,0004 | Tinggi |
| 3 | Bukateja | Karancengis | 1,401018949 | 0,05 | Tinggi | 4,0004 | Tinggi |
| 4 | Bukateja | Karancengis | 0,011426436 | 0,04 | Tinggi | 4,0004 | Tinggi |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1284 | Purbalingga | Jatisaba | 42,857672302 | 0,02 | Sedang | 4,0004 | Tinggi |
| 1285 | Purbalingga | Toyareja | 2,714472794 | 0,04 | Tinggi | 4,0004 | Tinggi |
| 1286 | Purbalingga | Toyareja | 0,665151435 | 0,06 | Tinggi | 4,0004 | Tinggi |



Gambar 15. Peta tingkat kerawanan banjir dengan metode *storie*



Gambar 16. Peta tingkat kerawanan banjir dengan metode *fuzzy* mamdani

Dari Gambar 15 dan Gambar 16 terlihat bahwa terdapat beberapa perbedaan antara peta kerawanan banjir dengan metode *storie* dan metode *fuzzy* Mamdani sehingga dapat dibuat hasil perbandingan sesuai pada Tabel 10.

Berdasarkan Tabel 10 hasil perbandingan antara metode *storie* dengan metode *fuzzy* Mamdani dilakukan perhitungan akurasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Akurasi} &= \frac{JT - JB}{JT} \times 100\% \\
 &= \frac{1286 - 143}{1286} \times 100\%
 \end{aligned}$$

= 88,9%

Berdasarkan persamaan tersebut dapat diketahui bahwa *JT* merupakan jumlah titik wilayah hasil *overlay*. Sementara itu *JB* merupakan jumlah titik yang berbeda antara metode *storie* dan *fuzzy* mamdani.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh 4 tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Purbalingga meliputi kerawanan rendah di 25 titik wilayah dengan luas 57,5467Ha, kerawanan sedang di 317 titik wilayah dengan luas 203,385Ha, kerawanan tinggi di 756 titik wilayah dengan luas 11232,792Ha, dan kerawanan sangat tinggi di 188 titik wilayah dengan luas 5595,286Ha. Hasil tersebut dapat digunakan oleh Pemerintah Kabupaten Purbalingga untuk mitigasi bencana alam banjir sehingga dapat meminimalisir resiko banjir.

Daftar Pustaka

- [1] Muhammad, Z. (2020). Peningkatan ketangguhan masyarakat terhadap bencana tsunami dengan menggunakan metode simulasi. *Jurnal Kesehatan Mesencephalon*, 6(1), 14-28.
- [2] Pangaribun, J., Sabri, L. M., & Amarrohman, F. J. (2019). Analisis daerah rawan bencana tanah longsor di kabupaten Magelang menggunakan sistem informasi geografis dengan metode standar nasional Indonesia dan analytical hierarchy process. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 288–297.
- [3] Pemerintahan Indonesia. (2007). *Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang penanggulangan bencana*.

- [4] BNPB. (2021). *Definisi bencana*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- [5] BNPB. (2020). *Indeks risiko bencana indonesia tahun 2020*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- [6] Kasnar, S., Hasan, M., Arfin, L., & Sejati, A. E. (2019). Kesesuaian pemetaan daerah potensi rawan banjir metode overlay dengan kondisi sebenarnya di kota Kendari. *Jurnal Tunas Geografi*, 8(2), 85–92.
- [7] Cahyani, R., Leksono, D. I. B. E. & Krama, A. V. (2020). *Identifikasi daerah rawan banjir di Kabupaten Pringsewu*.
- [8] BPBD. (2021). *Bencana Banjir*. Badan Penanggulangan Bencana Alam Daerah.
- [9] Muwahid, S. W. (2019). Pemanfaatan foto udara format kecil (FUFK) untuk analisis risiko banjir di Desa Simoboyo Kabupaten Pacitan. *Jurnal Dialog dan Penanggulangan Bencana*, 10(1), 62-76.
- [10] Batu, J. A. A. J. L. & Fibriani, C. (2017). Analisis penentuan lokasi evakuasi bencana banjir dengan pemanfaatan sistem informasi geografis dan metode simple additive weighting. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 4(2), 127-135.
- [11] 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), 714-722.
- [12] Parewe, A. M. A. K. & Mahmudy, W. F. (2016). Dental disease identification using fuzzy inference system. *Jurnal of Environmental Engineering & Sustainable Tehcnology*, 3(01), 33–41.
- [13] Ayuningtyas, L. P., & Jumadi. (2017). Analisa perbandingan *logic fuzzy* metode tsukamoto, sugeno, dan mamdani (Studi kasus : Prediksi jumlah pendaftar mahasiswa baru fakultas sains dan teknologi universitas Islam negeri sunan gunung djati Bandung). *Jurnal Teknik Informatika UIN Sunan Gunung Djati Bandung. Jurnal Teknik Informatika UIN Syarif Hidayatullah*, 10(1), 133-142.
- [14] Renaold, J. P., & M. J Singer. (1979). Defining prime *farmland* by three land classification system. *Journal of Soil and Water Conservation*, 34(1), 172-176.
- [15] Wardani, S. K. (2020). *Aplikasi fuzzy mamdani untuk menentukan tingkat kerawanan tanah longsor di Yogyakarta*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- [16] Sobirin, S., & Ramadhan, M. (2017). Analisis Potensi dan bahaya bencana longsor menggunakan modifikasi metode indeks storie di Kabupaten Kebumen Jawa Tengah. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 8, pp. 59-64).