

ANALISIS TINGKAT KERAWANAN LONGSOR MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC DAN METODE KINEMATIK DAERAH WATUAGUNG DAN SEKITARNYA, JAWA TENGAH

P. Soraya^{1*}, B.K. Susilo¹

¹ Teknik Geologi, Universitas Sriwijaya, Palembang
Corresponding author: fitrisoraya1919@gmail.com

ABSTRAK: Tanah longsor terjadi akibat adanya gangguan kestabilan lereng sehingga menyebabkan massa batuan ataupun tanah bergerak dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah. Bencana alam ini memberikan banyak dampak negatif terutama kerugian materil dan moril. Oleh karena itu dilakukan analisis tingkat kerawanan longsor sebagai upaya untuk meminimalisir dampak negatif longsor dan mencegah terjadinya bencana alam ini. Daerah rawan terjadi longsor dapat diidentifikasi melalui Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan menggunakan parameter-parameter penyebab longsor seperti: kemiringan lereng, elevasi, penutup lahan, batuan penyusun, jenis tanah penyusun dan curah hujan. Keenam parameter tersebut diolah dengan metode *overlay fuzzy logic*. Proses *overlay* peta menggunakan *toolbox overlay fuzzy* yang berada di *analysis spatial tools* yang berada pada *software ArcGis*. Sebelum itu, ditentukan terlebih dahulu derajat keanggotaannya dengan cara memilih *fuzzy membership* dengan menambahkan nilai terkecil dan terbesar dai tiap-tiap parameter. *Output* dari metode tersebut berupa peta tingkat kerawanan longsor yang menggambarkan 4 kelas kerawanan, antara lain: tidak rawan (57,8 km²), agak rawan (5,7 km²), rawan (21,5 km²) dan sangat rawan (0,025 km²). Kemudian dilakukan analisis kinematik dengan menggunakan data kekar yang terdapat di sekitar lokasi longsor. Data tersebut diolah menggunakan *software Rocscience Dips* dan menghasilkan jenis longsor yang ada di daerah penelitian, yaitu longsor baji (*wedge failure*) dengan bidang longsor N 323° E/42° dan longsor bidang (*plane failure*) dengan bidang longsor N 134° E/69°. Berdasarkan kedua analisis tersebut diketahui bahwa Desa Sampang merupakan daerah yang memiliki tingkat rawan longsor yang tinggi sedangkan tingkat rawan longsor daerah penelitian didominasi tingkat kerawanan longsor rawan dan tidak rawan.

Kata Kunci: SIG, *Fuzzy logic*, Longsor, Kinematik, Kekar

ABSTRACT: Landslides occur due to disturbance of slope stability, causing rock or soil masses to move from a high to a lower place. This natural disaster has many negative impacts, especially material and moral losses. Therefore, an analysis of landslide hazard levels is conducted in an effort to minimize the negative impact of landslides and prevent these natural disasters. Areas prone to landslides can be identified through the Geographical Information System (GIS) by using the parameters that cause landslides such as: slope, elevation, land cover, constituent rocks, types of soil and rainfall. The six parameters are processed using the method *overlay fuzzy logic*. The process overlay map uses the fuzzy overlay toolbox in the analysis spatial tools in the software ArcGis. Prior to that, the degree of membership was determined by selecting fuzzy membership by adding the smallest and largest values for each parameter. The output of this method is a landslide hazard level map depicting 4 hazard classes, including: low hazard (57.8 km²), medium hazard (5.7 km²), hazard (21.5 km²) and high hazard (0.025 km²). Then performed a kinematic analysis using the stocking data in the vicinity of the landslide. The data is processed using Rocscience Dips software and produces the types of landslides in the study area, namely wedge failure with N 323 ° E / 42 ° landslide field and plane failure with N 134 ° E / 69 landslide field. °. Based on these two analyzes, it is known that Sampang Village is an area that has a high landslide-prone level, while the landslide-prone area of the study area is dominated by landslide-prone and non-prone levels.

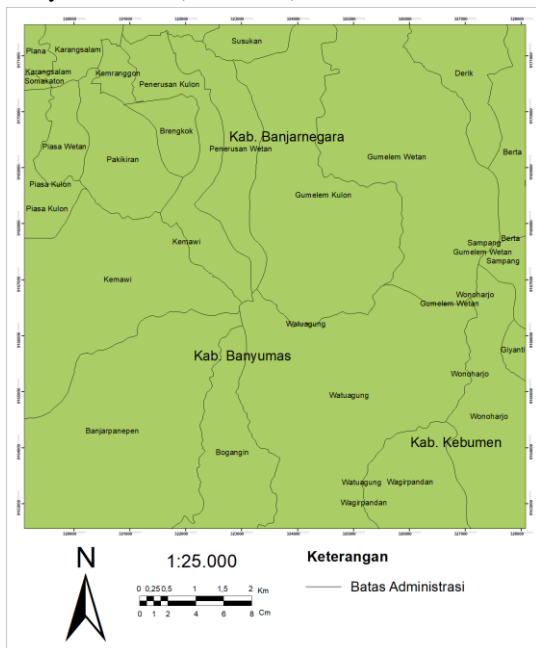
Keywords: GIS, *Fuzzy logic*, Landslide, Kinematic, Joint

PENDAHULUAN

Bencana alam merupakan fenomena alam yang dapat terjadi kapan saja dan di mana saja. Salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia adalah tanah longsor. Menurut Effendi (2016) tanah longsor adalah aktivitas dari proses gangguan keseimbangan yang menyebabkan keseimbangan massa tanah dan batuan bergerak dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah. Faktor pemicu tanah longsor terbagi menjadi dua. Pertama berupa faktor alami seperti morfologi, struktur geologi, penggunaan lahan, jenis tanah, struktur geologi, curah hujan dan kegempaan (Utomo & Widiatmaka, 2013). Faktor kedua yaitu alih fungsi lahan yang tidak terkontrol karena peningkatan populasi penduduk sehingga diperlukan pengembangan lahan untuk kegiatan permukiman, ekonomi maupun infrastruktur (Priyono & Priyana, 2006).

Berdasarkan data BNPB tahun 2020 terdapat 856 kejadian tanah longsor di Indonesia dan 163 di antaranya terjadi di Provinsi Jawa Tengah. Terjadinya bencana memberikan dampak ke berbagai aspek. Bukan hanya aspek fisik kawasan, namun juga pada aspek ekonomi dan hingga korban jiwa. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk meminimalisir dampak negatif dari bencana tanah longsor yaitu dengan melakukan analisis tingkat kerawanan longsor pada daerah penelitian.

Secara administratif, daerah penelitian terletak di daerah Watugung dan sekitarnya, Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis terletak pada koordinat 109° 21' 37,7" BT – 109° 26' 30,6" BT dan 7° 29' 31,6" LS – 7° 34' 22,5" LS dengan luas wilayah 81 km² (Gambar 1).



Gambar 1 Lokasi penelitian

Daerah penelitian memiliki morfologi yang dominan berbukit dengan lereng yang relatif curam sehingga memiliki potensi terjadinya bencana tanah longsor. Bahaya tanah longsor dapat diidentifikasi melalui sistem informasi geografis dengan menggunakan metode tumpang susun atau overlay terhadap parameter-parameter penyebab tanah longsor seperti: curah hujan, jenis tanah, kemiringan lereng, ketinggian, dan tutupan lahan. Dari keenam parameter tersebut akan dilakukan proses analisis dengan menggunakan metode *fuzzy logic* untuk menentukan tingkat kerawanan tanah longsor.

METODE PENELITIAN

Dalam menganalisis tingkat kerawanan longsor dilakukan 2 metode, yaitu metode *fuzzy logic* dan metode kinematik. Namun, sebelum melakukan kedua metode tersebut, diperlukan data-data lapangan pendukung seperti titik longsor, struktur geologi berupa kekar dan satuan batuan yang didapatkan dari pemetaan geologi.

Metode *fuzzy logic* adalah metode yang digunakan untuk membuat peta tingkat kerawanan longsor dengan cara melakukan *overlay* enam parameter yang telah diklasifikasikan sebelumnya. Sebelum itu, ditentukan terlebih dahulu derajat keanggotaannya dengan cara memilih *fuzzy membership*. Dalam menentukan tingkat kerawanan tanah longsor menggunakan metode *fuzzy logic* akan diolah sebagai himpunan *fuzzy* yang memiliki derajat keanggotaan yang bernilai kontinu antara 0 sampai 1. Pada metode ini terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan, antara lain:

- Variabel *fuzzy* adalah variabel yang memiliki sifat ketidakpastian berupa variabel *input fuzzy* dan variabel *output fuzzy*
- Himpunan *fuzzy* adalah suatu kelompok yang mewakili suatu kondisi tertentu dalam variabel *fuzzy*. Dalam penelitian ini himpunan fuzzy yang digunakan berupa beberapa parameter yakni variabel input kemiringan lereng (Tabel 1), elevasi (Tabel 2), tutupan lahan (Tabel 3), jenis batuan (Tabel 4), jenis tanah (Tabel 5), dan curah hujan (Tabel 6).

Tabel 1 Parameter kemiringan lereng

| No. | Kelas | Tingkat Kemiringan | Nilai Linguistik |
|-----|--------------------|--------------------|------------------|
| 1 | Datar-Hampir Datar | 0-2% | $x < 2$ |
| 2 | Landai | 3-7% | $2 < x \leq 7$ |
| 3 | Miring | 7-13% | $7 < x \leq 13$ |
| 4 | Cukup Curam | 13-20% | $13 < x \leq 20$ |

| | | | |
|---|---------------|---------|-------------------|
| 5 | Curam | 20-55% | $20 < x \leq 55$ |
| 6 | Sangat Curam | 55-140% | $55 < x \leq 140$ |
| 7 | Curam Ekstrem | >140% | $x > 140$ |

Sumber: Widyatmanti, dkk (2016)

Tabel 2 Parameter elevasi

| No. | Kelas | Tingkat Elavasi | Nilai Linguistik |
|-----|-------------------|-----------------|---------------------|
| 1 | Dataran Rendah | < 50 | $x < 50$ |
| 2 | Perbukitan Rendah | 50-200 | $50 < x \leq 200$ |
| 3 | Perbukitan | 200-500 | $200 < x \leq 500$ |
| 4 | Perbukitan Tinggi | 500-1000 | $500 < x \leq 1000$ |

Sumber: Widyatmanti, dkk (2016)

Tabel 3. Tutupan lahan

| No. | Tutupan Lahan | Tingkat Erosi | Nilai Linguistik |
|-----|---------------------------|---------------|------------------|
| 1 | Hutan | Kurang Peka | $x < 10$ |
| 2 | Perkebunan, Semak Belukar | Agak Peka | $10 < x \leq 30$ |
| 3 | Sawah, Ladang | Peka | $30 < x \leq 50$ |
| 4 | Pemukiman | Sangat Peka | $x > 50$ |

Sumber: Karnawati, dkk (2003)

Tabel 4 Jenis batuan

| No. | Jenis Batuan | Tingkat Erosi | Nilai Linguistik |
|-----|--------------|---------------|------------------|
| 1 | Basalt | Kurang Peka | $x < 20$ |
| 2 | Breksi | Agak Peka | $20 < x \leq 30$ |
| 3 | Batupasir | Peka | $x > 30$ |

Sumber: Peta Geologi Daerah Penelitian

Tabel 5 Jenis tanah

| No. | Jenis Tanah | Tingkat Erosi | Nilai Linguistik |
|-----|------------------|---------------|------------------|
| 1 | Andosol | Tidak Peka | $x < 10$ |
| 2 | Latosol | Agak Peka | $10 < x \leq 20$ |
| 3 | Pedsol | Peka | $20 < x \leq 30$ |
| 4 | Gleisol, Aluvial | Sangat Peka | $x > 30$ |

Sumber: Sistem Infomasi Sumberdaya Lahan Pertanian (2019)

Tabel 6 Parameter curah hujan

| No. | Kelas | Intensitas | Nilai Linguistik |
|-----|--------|------------|--------------------|
| 1 | Rendah | 0-100 mm | $x < 100$ |
| 2 | Sedang | 100-300 mm | $100 < x \leq 300$ |
| 3 | Tinggi | 300-500 mm | $300 < x \leq 500$ |

Sumber: Badan Klimatologi Geofisika (2020)

Berdasarkan *overlay* keenam parameter di atas akan menghasilkan peta atau data tingkat kerawanan longsor daerah penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Tingkat kerawanan longsor

| No. | Kelas Kerawanan | Tingkat Kerawanan |
|-----|-----------------|-------------------|
| 1 | Tidak Rawan | < 3,40 |
| 2 | Agak Rendah | 3,41-4,50 |
| 3 | Rawan | 4,51-5,40 |
| 4 | Sangat Rawan | 5,41-7,00 |

Sumber: Akhsar (2014)

- c. Nilai linguistik adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan pada variabel *fuzzy*.
- d. Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan pada variabel *fuzzy* dan masih berada pada rentang nilai linguistik.
- e. Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah derajat keanggotaan yang memiliki interval antara 0 dan 1.

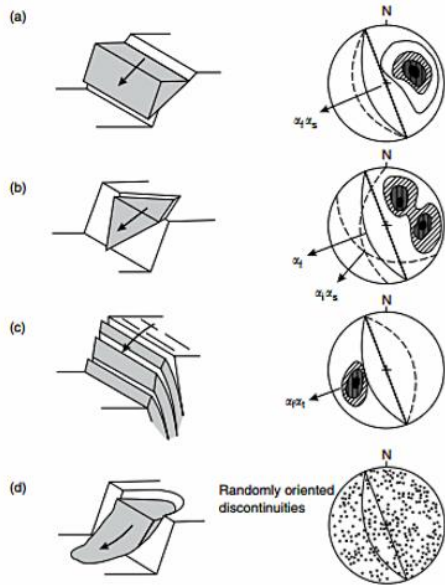
Setiap himpunan *fuzzy* dilakukan proses *membership fuzzy* untuk mendapatkan derajat keanggotaannya. Proses ini dilakukan di ArcGis dengan tahapan *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Overlay* → *Fuzzy Membership*. Pada *membership type* pilih linear dan masukkan nilai minimum dan maksimum dari tiap parameter. Hasil dari proses ini akan mendapatkan peta tiap parameter dalam format raster.

Setelah itu, dilakukan proses *overlay* dengan cara *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Overlay* → *Overlay Fuzzy*. Dari keenam parameter hasil dari proses *membership fuzzy* berdasarkan nilai linguistik dilakukan proses tumpang tindih atau *overlay fuzzy*. Aturan *fuzzy* menghubungkan variabel input dan output *fuzzy*. Hubungan keduanya dibentuk dalam sebuah relasi menggunakan operator *fuzzy* berupa *and* dan *or*. Pada jendela *overlay type* dalam *overlay fuzzy* pilih '*and*' sebagai penghubung antar tiap parameter. Hasil dari proses ini menghasilkan peta tingkat kerawanan longsor.

Metode kedua, yakni metode kinematik. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis longsor dan mengetahui arah runtuhnya. Data yang digunakan dalam metode ini berupa data kekar yang merupakan hasil observasi lapangan (pemetaan geologi). Data-data tersebut kemudian diolah pada streonet guna mengetahui arah dan jenis longsorannya. Berikut jenis-jenis longsor menurut Hoek dan Bray (1981), antara lain:

- 1) Longsoran bidang (*plane sliding failure*),
- 2) Longsoran baji (*wedge sliding failure*),
- 3) Longsoran jungkiran (*toppling failure*),
- 4) Longsoran busur (*circular sliding failure*).

Pada daerah penelitian terdapat beberapa struktur geologi yang berperan penting dalam memicu terjadinya longsor. Struktur geologi khususnya kekar dapat dijadikan bukti yang mengindikasikan bahwa banyak bidang lemah yang terbentuk pada massa batuan. Salah satu metode yang seringkali digunakan untuk melakukan identifikasi dan karakteristik bidang diskontinuitas pada singkapan lereng batuan yaitu *scanline*. Berdasarkan data yang telah diolah tersebut akan menghasilkan arah dan jenis longsoran (Gambar 2).

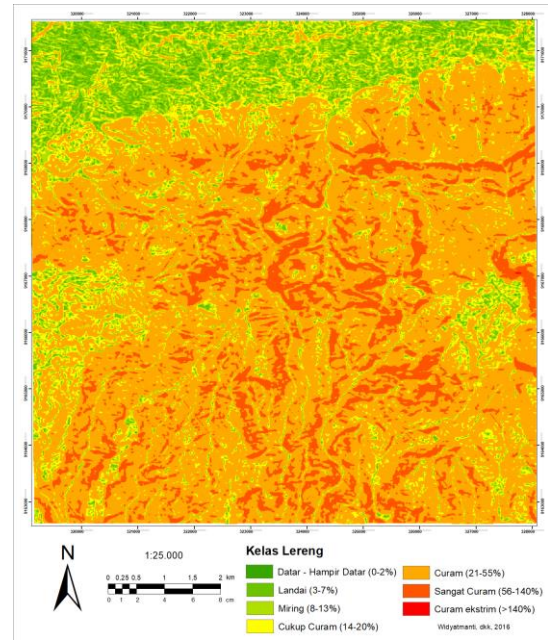


Gambar 2 Jenis-jenis longsor (Hoek dan Bray, 1981)

HASIL DAN PEMBAHASAN

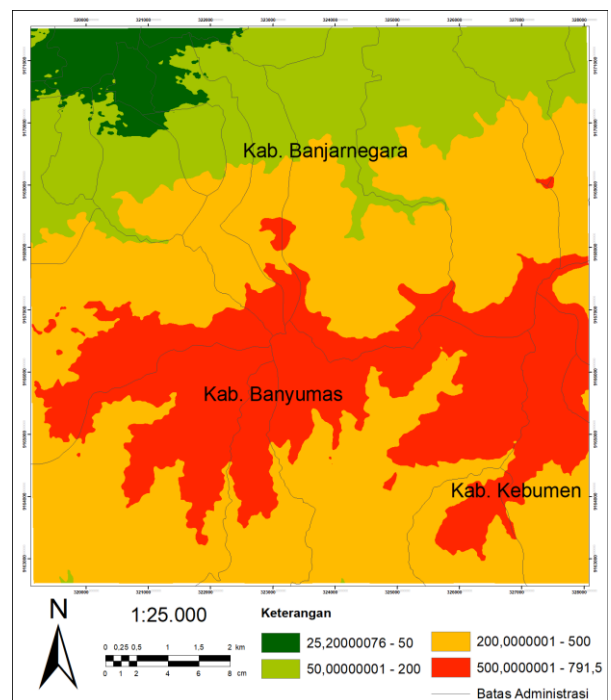
Dalam melakukan analisis kerawanan longsor dengan metode *overlay fuzzy* yang menggabungkan 6 parameter berupa peta yang menjadi pemicu terjadinya longsor, yaitu peta kemiringan lereng (Gambar 3), peta elevasi (Gambar 4), peta tutupan lahan (Gambar 5), peta jenis batuan (Gambar 6), peta jenis tanah (Gambar 7) dan peta curah hujan (Gambar 8).

Berdasarkan klasifikasi Widyatmanti, dkk (2016), lokasi penelitian terdiri dari 6 kelas lereng yaitu datar-hampir datar, landai, miring, cukup curam, curam dan sangat curam. Hal tersebut tergambar pada Gambar 3. Pengaruh kemiringan lereng dalam tingkat rawan longsor selain memperbesar jumlah aliran permukaan, juga memperbesar kecepatan aliran permukaan jika lereng makin curam. Selain dari itu semakin curam lereng juga akan memperbesar jumlah butiran tanah yang terangkut ke bawah (Sugiharyanto, 2009).



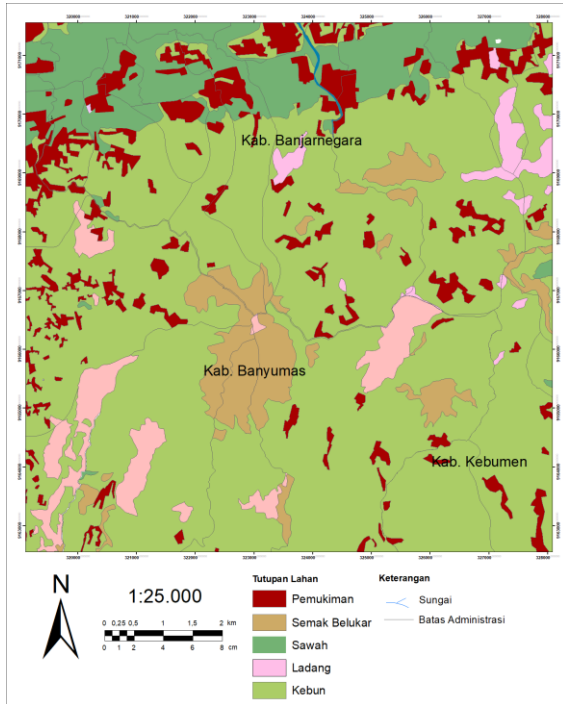
Gambar 3 Peta kemiringan lereng

Parameter kedua dari analisis kerawanan longsor adalah ketinggian atau elevasi. Daerah yang memiliki ketinggian yang tinggi di atas permukaan laut akan berpengaruh terhadap massa tanah dan batuan yang bergerak dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah. Daerah penelitian sebagian besar terdiri dari perbukitan, tergambar oleh Gambar 4. Berdasarkan klasifikasi Widyatmanti, dkk (2016), daerah tersebut terdiri dari 4 kelas elevasi yaitu dataran rendah, perbukitan rendah, perbukitan dan perbukitan tinggi.



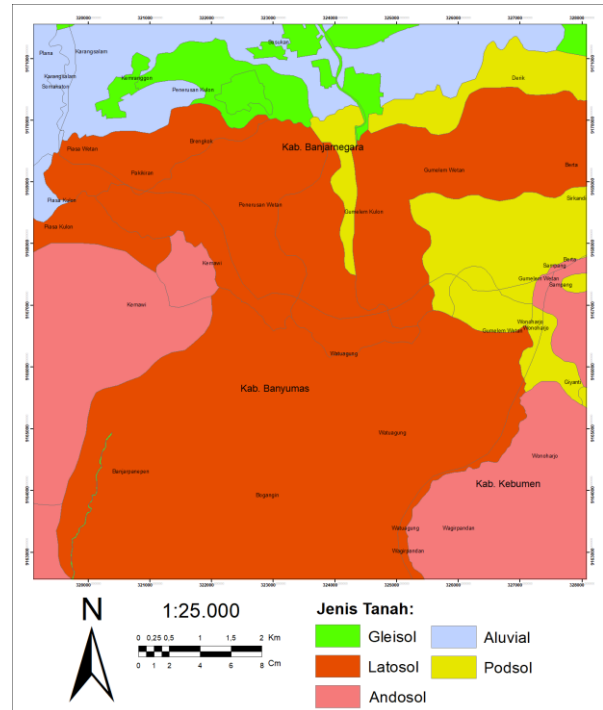
Gambar 4 Peta elevasi daerah penelitian

Pada parameter tutupan lahan, daerah penelitian didominasi oleh perkebunan yang hampir tersebar sekitar 70% dari luas petakan. Parameter ini menunjukkan pemanfaatan lahan yang ada di daerah penelitian (Gambar 5).



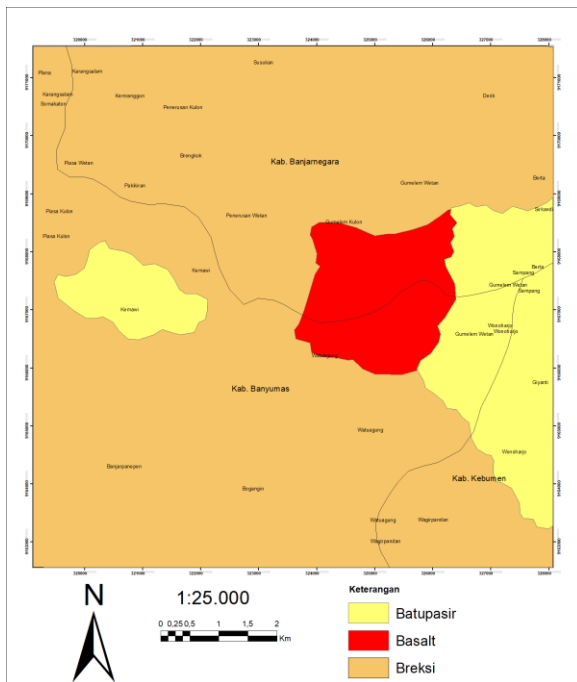
Gambar 5 Peta tutupan lahan daerah penelitian

Peta jenis tanah merupakan parameter keenam dari analisis kerawanan longsor. Data jenis tanah ini didapatkan dari Sistem Informasi Geografis Lahan Pertanian tahun 2016. Sebaran jenis tanah yang berada pada daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 7.



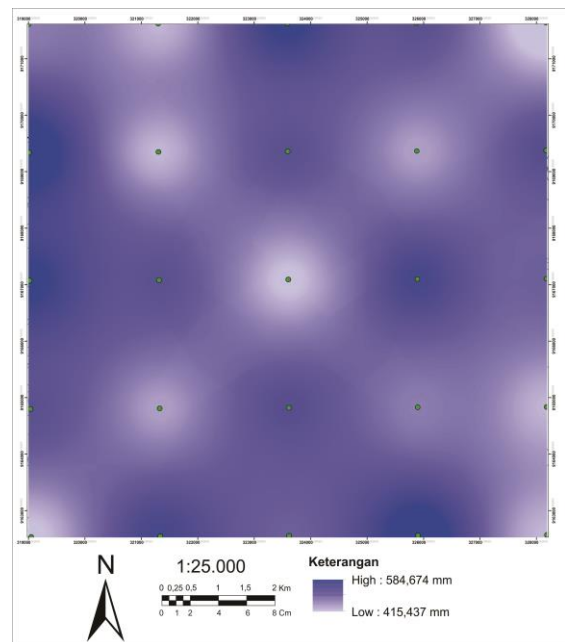
Gambar 7. Peta Jenis Tanah

Pada parameter keempat ini digunakan peta sebaran batuan. Peta ini dibuat berdasarkan data yang ditemukan di lapangan pada saat pemetaan geologi. (Gambar 6)



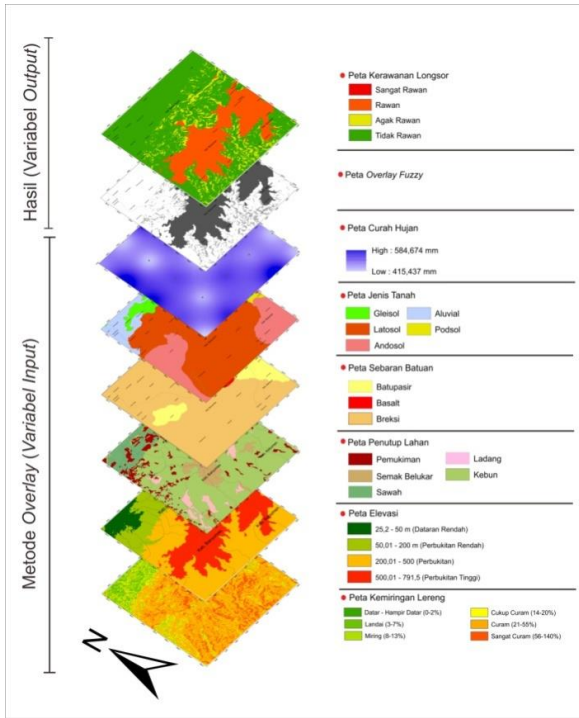
Gambar 6 Peta sebaran batuan

Kemudian yang menjadi parameter terakhir tetapi sangat berpengaruh dalam analisis ini adalah parameter curah hujan (Gambar 8)



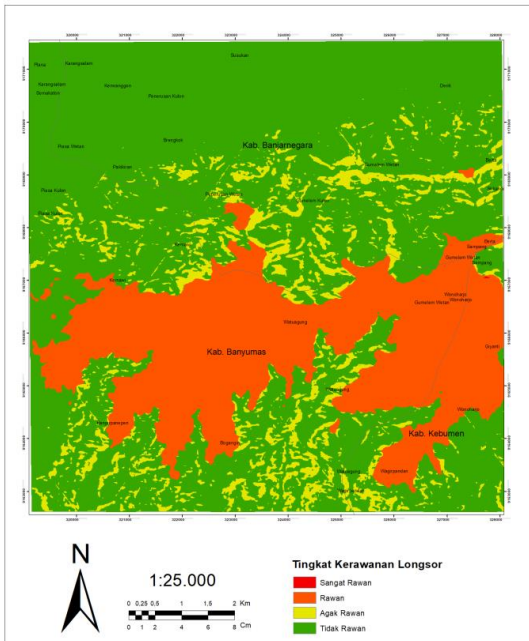
Gambar 8 Peta curah hujan

Parameter-parameter tersebut dilakukan proses tumpang tindih atau overlay fuzzy sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9 Proses Overlay

Setelah dilakukan *overlay fuzzy* dengan enam parameter tersebut dihasilkan 4 kelas kerawanan. Dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Peta tingkat rawan longsor daerah Watugung dan sekitarnya

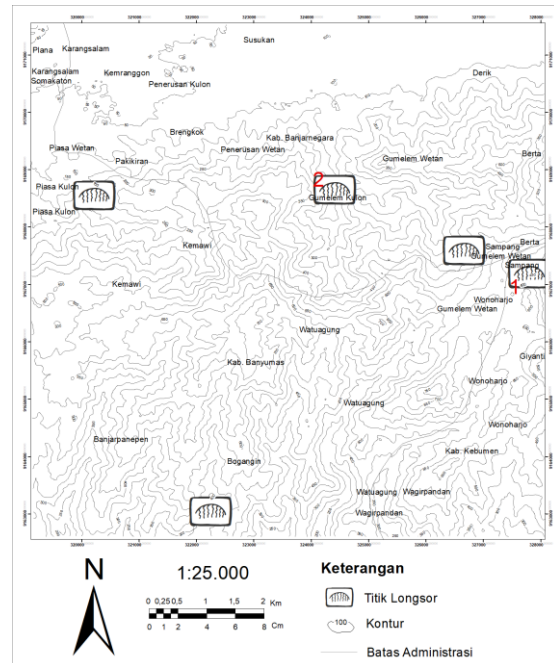
Walaupun pada gambar di atas terlihat bahwa daerah penelitian didominasi warna jingga dan hijau serta sedikit warna kuning tetapi juga ada warna merah di bagian timur yaitu Desa Sampang. Luasan wilayah dan persentasenya pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil analisis tingkat kerawanan longsor

| No. | Tingkat Kerawanan | Luas (km ²) | % |
|-----|-------------------|-------------------------|-------|
| 1 | Sangat Rawan | 0,025 | 0,04 |
| 2 | Rawan | 17,4 | 21,56 |
| 3 | Agak Rawan | 5,7 | 7,04 |
| 4 | Tidak Rawan | 57,8 | 71,36 |

Kecenderungan rawan longsor terdapat pada tengah petakan meliputi beberapa desa seperti: Sampang, Gumelem Kulon, Gumelem Wetan, Piasa Kulon, Watugung dan Bogangin. Daerah tersebut merupakan tinggian yang berbentuk perbukitan dengan lereng yang cukup tinggi. Walaupun terdiri dari batuan breksi dan basalt tetapi kondisi singkapan sudah banyak yang mengalami pelapukan sehingga rentan terjadi longsor.

Selanjutnya dilakukan analisis kinematik untuk menentukan jenis dan arah longoran. Pada lokasi penelitian (Gambar 11) terdapat 5 titik bukti longsor berupa runturan tanah dan batuan tetapi hanya ada 2 lokasi longsor yang terdapat data kekar yang akan diolah pada streonet yaitu lokasi longsor yang ditandai dengan angka 1 dan 2.



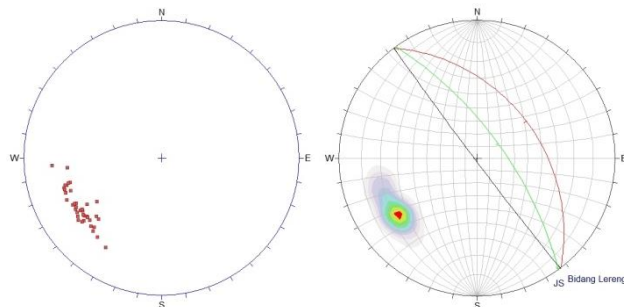
Gambar 11 Lokasi pengamatan longsor

Pengukuran data kekar pada lokasi pengamatan 1 (Gambar 11) dilakukan pada Desa Sampang, Kabupaten Banyumas. Hasil pengukuran data kekar tersebut didapatkan dari observasi lapangan dengan panjang lereng sekitar 30 meter dan tinggi 10 meter. Pengukuran dilakukan di lokasi dekat lereng dengan data sejumlah 35 arah. Daerah tersebut disusun oleh batupasir Formasi Halang dengan kondisi yang sedikit lapuk. Batupasir memiliki ukuran butir sedang hingga kasar dengan warna kuning kecoklatan. Lokasi pengamatan longsor 1 ini jika dilihat pada peta tingkat kerawanan longsor (Gambar 10) berwarna merah yang menunjukkan tingkat kerawanannya adalah sangat rawan.



Gambar 11 Lokasi pengamatan longsor 1 (Azimuth Foto: N 252°E)

Setelah dilakukan analisis streografi dengan *software Rocscience Dips*, didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa longsor tersebut termasuk jenis longsor bidang (*plane failure*) menurut Hoek dan Bray (1981). Longsor ini memiliki bidang longsor N 323° E/42° dan satu *joint set* berarah N 324°E/69° (Gambar 12).



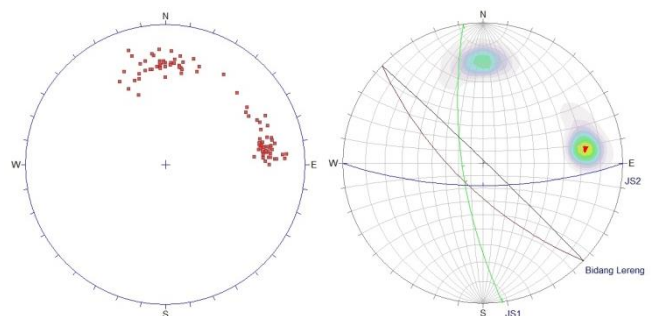
Gambar 12 Hasil analisis streografi lokasi longsor 1

Pada lokasi pengamatan longsor kedua dilakukan analisis kinematik pada Desa Gumelem Kulon. Lokasi longsor tepat berada di tepi sungai yang di atasnya merupakan jalan (Gambar 13). Lokasi terjadinya longsor ini termasuk ke dalam Formasi Breksi Anggota Halang dengan batu penyusun breksi yang telah lapuk karena berada di tepi sungai.



Gambar 13. Lokasi pengamatan longsor 2 (Azimuth Foto: N 110°)

Longsor di atas memiliki panjang lereng 5 meter dan tinggi lebih dari 7 meter. Data kekar yang diukur pada lokasi sekitar longsor berjumlah sekitar 50 data kekar. Setelah dilakukan analisis streografi didapatkan 2 *joint set* dengan arah N 172° E/73° dan N 90° E/72°. Dengan didapatkannya dua *joint set* tersebut menunjukkan bahwa jenis longsor ini termasuk ke dalam jenis longsor baji (*wedge failure*) berdasarkan klasifikasi Hoek dan Bray (1981). Bidang longsor N 134° E/69°. Hasil streografi lokasi pengamatan longsor kedua ini dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Hasil analisis streografi lokasi longsor 2

KESIMPULAN

1. Metode *fuzzy logic* menggunakan enam parameter berupa: peta kemiringan lereng, peta ketinggian/elevasi, peta tutupan lahan, peta sebaran batuan, peta jenis tanah dan peta curah hujan

menghasilkan *output* berupa peta tingkat kerawanan longsor.

2. Peta tingkat kerawanan longsor yang dihasilkan memiliki 4 kelas yaitu sangat rawan (0,025 km²), rawan (17,4 km²), agak rawan (5,7 km²) dan tidak rawan (57,8 km²).
3. Pada lokasi penelitian terdapat 5 titik pengamatan longsor tetapi hanya 2 lokasi yang dapat dilakukan analisis kinematik. Metode kinematik dengan menganalisis struktur geologi berupa data kekar dilakukan untuk mengetahui bahwa longsor yang terjadi merupakan jenis longsor bidang (*plane failure*) dan longsor baji (*wedge failure*).
4. Desa Sampang merupakan daerah dengan tingkat rawan longsor yang tinggi. Sedangkan tingkat kerawanan longsor yang mendominasi daerah penelitian adalah tingkat rawan dan tingkat tidak rawan.

DAFTAR PUSTAKA

- Effendi, A.Y. dan Hariyanto, T. (2016). Pembuatan Peta Daerah Rawan Bencana Longsor dengan Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*. Jurnal Teknik ITS, Surabaya.
- Hoek, E., Bray, J.(1981). Rock Slope Engineering, Civil and Mining 4th Edition.
- Karnawati, D. (2003). Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya. Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Priyono, K. D., & Priyana, Y. (2006). Analisis Tingkat Bahaya Longsor Tanah Di Kecamatan Banjarmangu Kabupaten Banjarnegara (Analysis Landslide Hazard in Banjarmangu Sub District, Banjarnegara District), 175–189
- Utomo, W. Y., & Widiatmaka, K. G. (2013). Analisis Potensi Rawan (Hazard) dan Risiko (Risk) Bencana Banjir dan Longsor (Studi Kasus Provinsi Jawa Barat). Tesis. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Widyatmanti, W., Wicaksono, I., Syam, P. D. R., (2016), Identification of topographic elements composition based on landform boundaries from radar interferometry segmentation (preliminary study on digital landform mapping). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 37.