

**ANALISIS TINGKAT KERAWANAN TANAH LONGSOR  
MENGUNAKAN KOMBINASI METODE *FREQUENCY  
RATIO* DAN *FUZZY LOGIC* DI SUB DAS JENELATA,  
DAS JENEBERANG**

**OLEH  
AGNES SARCE GRIZELDA  
M111 16 323**



**PROGRAM STUDI KEHUTANAN  
FAKULTAS KEHUTANAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2020**

**ANALISIS TINGKAT KERAWANAN TANAH LONGSOR  
MENGUNAKAN KOMBINASI METODE *FREQUENCY  
RATIO* DAN *FUZZY LOGIC* DI SUB DAS JENELATA,  
DAS JENEBERANG**

**OLEH  
AGNES SARCE GRIZELDA  
M111 16 323**



**PROGRAM STUDI KEHUTANAN  
FAKULTAS KEHUTANAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2020**

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Tingkat Kerawanan Tanah Longsor  
Menggunakan Kombinasi Metode *Frequency Ratio* dan  
*Fuzzy Logic* di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang.  
Nama Mahasiswa : Agnes Sarce Grizelda  
NIM : M111 16 323

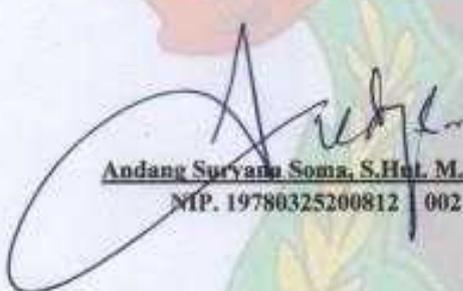
Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
Gelar Sarjana Kehutanan  
pada  
Program Studi Kehutanan  
Fakultas Kehutanan  
Universitas Hasanuddin

Menyetujui :

**Komisi Pembimbing**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

  
Andang Suryana Soma, S.Hut. M.P. Ph.D  
NIP. 19780325200812 002

  
Prof. Dr. Ir. Baharuddin Mappangaaja, M. Sc  
NIDK. 8886650017

Mengetahui,

**Ketua Departemen Kehutanan**

**Fakultas Kehutanan**

**Universitas Hasanuddin**

  
Dr. Forest. Muhammad Alf K.S., S.Hut., M.Si  
NIP. 19790831200812 1 002

Tanggal Lulus : November 2020

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Agnes Sarce Grizelda  
N I M : M111 16 323  
Judul Skripsi : "Analisis Tingkat Kerawanan Tanah Longsor  
Menggunakan Kombinasi Metode *Frequency Ratio*  
dan *Fuzzy Logic* di Sub DAS Jenelata, DAS  
Jeneberang"

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa penulisan Skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan programming yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari ditemukan bukti ketidakaslian atas Karya Ilmiah ini maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sesuai peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Makassar, 26 November 2020

Yang Bersangkutan

  
(Agnes Sarce Grizelda)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan nikmat dan rahmat-Nya sehingga Skripsi dengan judul “**Analisis Tingkat Kerawanan Tanah Longsor Menggunakan Kombinasi Metode *Frequency Ratio* dan *Fuzzy Logic* di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang**” dapat diselesaikan. Skripsi ini merupakan suatu langkah awal yang sangat bermakna bagi penulis untuk mampu mengembangkan lebih lanjut ilmu kehutanan.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis mendapat banyak bimbingan sangat berharga dari Andang Suryana Soma, S.Hut, M.P, Ph.D dan Prof. Dr. Ir Baharuddin Mappangaja, M.Sc. Kepada beliau yang telah tulus membimbing dengan baik, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Dr. Ir. H. Usman Arsyad, M.P, IPU, Wahyuni, S.Hut, M.Hut, Dr. Syamsu Rijal, S.Hut., M.Si, dan Emban Ibnurusyid Mas’ud S.Hut., M.P. atas segala saran, koreksi dan perbaikan demi kesempurnaan Skripsi ini.

Rasa hormat dan ucapan terima kasih yang tulus juga penulis sampaikan kepada seluruh staf pengajar Bapak/Ibu dosen beserta staf tata usaha Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bimbingan serta pengetahuan selama menempuh pendidikan.

Secara khusus, ucapan terima kasih, penulis sampaikan kepada Ayahanda Christian Rahawarin dan Ibunda Hasnawati Basri, S.Si, M.M serta saudariku Amelia Alma Aviana Paskah Rahawarin atas doa, nasehat, dan dukungan moril yang diberikan kepada penulis

Serta kepada Dwi Noor Prakoso, Tri Aprilia Chairunnisa, Muh. Dandy Rahmat R, Friska Mambela, Bunga Sari Iriyanto, Tri Alma Putri, Risaldi Wajo, Reisha Febianti Silas, teman-teman dari Watershed 27 dan Suiji-SLP 2019 juga semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu, penulis menyampaikan maaf yang sebesar-besarnya, semoga amalnya diterima oleh Allah SWT dan mendapat balasan yang berlipat.

Makassar, November 2020

Penulis

# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
ABSTRAK .....	x
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan dan Kegunaan.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Daerah Aliran Sungai .....	4
2.2 Tanah Longsor.....	5
2.2.1 Pengertian Longsor .....	5
2.2.2 Mekanisme Terjadinya Longsor .....	5
2.2.3 Parameter yang Mempengaruhi Longsor.....	6
2.3 Sistem Informasi Geografis (SIG).....	9
2.4 Metode <i>Frequency Ratio</i> .....	10
2.5 Metode <i>Fuzzy Logic</i> .....	11
III. METODE PENELITIAN.....	13
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	13
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	13
3.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian .....	14
3.3.1 Teknik Pengumpulan Data.....	14
3.4 Analisis Data .....	15
3.5 Validasi Data .....	17
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	19
4.1 Inventarisasi Tanah Longsor .....	19

4.2 Parameter Kerawanan longsor.....	20
4.2.1 Penutupan Lahan.....	22
4.2.2 Kemiringan Lereng .....	23
4.2.3 Kelengkungan Bumi .....	24
4.2.4 Litologi .....	25
4.2.5 Curah Hujan.....	27
4.2.6 Ketinggian.....	27
4.2.7 Jarak Patahan .....	28
4.2.8 Jarak dari Sungai.....	29
4.2.9 Jarak dari Jalan.....	30
4.3 Analisis Tingkat Kerawanan Longsor .....	31
4.4 Indeks Kerawanan Tanah Longsor .....	32
4.5 Validasi.....	33
4.6 Operator <i>Fuzzy Gamma</i> .....	35
V. KESIMPULAN DAN SARAN .....	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran .....	39
DAFTAR PUSTAKA .....	40
LAMPIRAN .....	44

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 1.	Nilai <i>Frequency Ratio</i> dan <i>Fuzzy Membership</i> pada Parameter Kerawanan Longsor .....	21
Tabel 2.	Nilai <i>Fuzzy Membership</i> pada Penutupan Lahan .....	23
Tabel 3.	Nilai <i>Fuzzy Membership</i> pada Kemiringan Lereng .....	24
Tabel 4.	Nilai <i>Fuzzy Membership</i> pada Kelengkungan Bumi.....	25
Tabel 5.	Nilai <i>Fuzzy Membership</i> pada Litologi.....	26
Tabel 6.	Nilai <i>Fuzzy Membership</i> pada Curah Hujan .....	27
Tabel 7.	Nilai <i>Fuzzy Membership</i> pada Ketinggian .....	28
Tabel 8.	Nilai <i>Fuzzy Membership</i> pada Jarak Patahan.....	29
Tabel 9.	Nilai <i>Fuzzy Membership</i> pada Jarak Dari Sungai .....	29
Tabel 10.	Nilai <i>Fuzzy Membership</i> pada Jarak Dari Jalan .....	30
Tabel 11.	Nilai Indeks Kerawanan pada Setiap Operator <i>Fuzzy</i> .....	32
Tabel 12.	Nilai AUC dari Hasil Analisis ROC untuk Tingkat Sukses (Validasi 1) <i>Fuzzy Membership</i> terhadap kejadian Longsor (Gambar 7).....	34
Tabel 13.	Nilai AUC dari Hasil Analisis ROC untuk Tingkat Prediksi (Validasi 2) <i>Fuzzy Membership</i> terhadap kejadian Longsor (Gambar 8).....	35
Tabel 14.	Tingkat Kerawanan Tanah Longsor Operator <i>Fuzzy Gamma</i> .....	36
Tabel 15.	Parameter yang Mendominasi pada Kerawanan Tanah Longsor Berdasarkan <i>Fuzzy Gamma</i> .....	37

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 1.	Peta Batas Sub DAS Jenelata .....	13
Gambar 2.	Kerangka Penelitian .....	14
Gambar 3.	Peta Sebaran Titik Longsor di Sub DAS Jenelata.....	19
Gambar 4.	Peta Parameter Penyebab Tanah Longsor .....	20
Gambar 5.	Grafik Nilai <i>Fuzzy Membership</i> di Sub DAS Jenelata.....	22
Gambar 6.	Peta Kerawanan Tanah Longsor .....	33
Gambar 7.	Kurva uji akurasi tingkat kesuksesan <i>Fuzzy Membership</i> .....	34
Gambar 8.	Kurva uji akurasi tingkat prediksi <i>Fuzzy Membership</i> .....	34
Gambar 9.	Peta Kerawanan Tanah Longsor Berdasarkan Operator <i>Fuzzy Gamma</i> .....	36

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Longsor di Sub DAS Jenelata.....	44
Lampiran 2.	Peta Penutupan Lahan di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang .....	45
Lampiran 3.	Peta Litologi di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang .....	46
Lampiran 4.	Peta Ketinggian di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang.....	47
Lampiran 5.	Peta Kemiringan Lereng di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang..	48
Lampiran 6.	Peta Jarak Dari Sungai di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang.....	49
Lampiran 7.	Peta Jarak Patahan di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang .....	50
Lampiran 8.	Peta Jarak Dari Jalan di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang .....	51
Lampiran 9.	Peta Curah Hujan di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang.....	52
Lampiran 10.	Peta Kelengkungan Bumi di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang .....	53
Lampiran 11.	Peta Kerawanan Tanah Longsor (Operator <i>Fuzzy Gamma</i> ) di Sub DAS Jenelata .....	54
Lampiran 12.	Peta Kerawanan Tanah Longsor (Operator <i>Fuzzy And</i> ) di Sub DAS Jenelata .....	55
Lampiran 13.	Peta Kerawanan Tanah Longsor (Operator <i>Fuzzy Or</i> ) di Sub DAS Jenelata .....	56
Lampiran 14.	Peta Kerawanan Tanah Longsor (Operator <i>Fuzzy Sum</i> ) di Sub DAS Jenelata .....	57
Lampiran 15.	Peta Kerawanan Tanah Longsor (Operator <i>Fuzzy Product</i> ) di Sub DAS Jenelata .....	58
Lampiran 16.	Tabel Sebaran Luas (ha) Kerawanan Longsor Berdasarkan Operator <i>Fuzzy Gamma</i> di Kecamatan Sub DAS Jenelata,.....	59
Lampiran 17.	Tabel <i>Confusion Matrix</i> Penutupan Lahan tahun 2019 di Sub DAS Jenelata .....	60

## ABSTRAK

**AGNES SARCE GRIZELDA (M111 16 323) Analisis Tingkat Kerawanan Tanah Longsor Menggunakan Kombinasi Metode *Frequency Ratio* dan *Fuzzy Logic* di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang. Dibawah Bimbingan Andang Suryana Soma dan Baharuddin Mappangaja**

Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang Kabupaten Gowa merupakan salah satu wilayah yang mengalami dampak kejadian longsor dengan berbagai faktor pemicu. Oleh karena itu pentingnya mengetahui kondisi dan karakteristik wilayah tersebut dengan tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh dan pemetaan kerawanan longsor dengan menggunakan metode *frequency ratio* dan *fuzzy logic*. Parameter yang digunakan berdasarkan studi literatur, kondisi tempat penelitian dan sumber data yang tersedia, antara lain; (1) Penutupan Lahan, (2) Kemiringan lereng, (3) Kelengkungan bumi, (4) Litologi, (5) Curah Hujan, (6) Ketinggian (7) Jarak Patahan, (8) Jarak dari Sungai, dan (9) Jarak dari Jalan. Faktor - faktor tersebut diolah untuk mendapatkan nilai rasio serta tumpang tindih dengan longsor yang telah diidentifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada parameter kemiringan lereng dengan kelas  $>45\%$  memiliki nilai probabilitas tertinggi sebesar 1 yang didapat dari *frequency ratio* dan dinormalisasi sebagai fungsi *fuzzy membership*. Nilai tersebut digunakan pada beberapa operator *fuzzy* untuk menghasilkan peta kerawanan longsor. Operator *fuzzy gamma* (0,9) ditunjukkan sebagai model dengan *overlay* terbaik serta akurasi yang cukup, dari nilai AUC berdasarkan analisis ROC diperoleh nilai untuk tingkat kesuksesan model sebesar 0,781 dan tingkat prediksi model sebesar 0,775. Persentase kerawanan longsor dari operator *fuzzy Gamma* yaitu sangat rendah sebesar 41% (9.193 ha), rendah 22% (5.070 ha), sedang 19% (4.188 ha), tinggi 15% (3.402 ha), dan sangat tinggi 3% (704 ha).

**Kata kunci:** *Frequency ratio*, *Fuzzy Logic*, Kerawanan longsor, Sub DAS Jenelata.

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Longsor menjadi salah satu bencana alam yang seringkali terjadi di Indonesia, hal ini disebabkan karena Indonesia terletak pada pertemuan lempeng yang saling bertumbuk, didukung dengan karakteristik batuan yang mudah mengalami pelapukan, kemiringan lereng serta curah hujan dengan kuantitas yang tinggi. Selaras dengan pernyataan Taufik, dkk. (2016), bahwa Indonesia adalah negara yang rawan bencana dilihat dari aspek geografis, klimatologis dan demografis. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2020), menunjukkan bahwa terdapat 4.561 jumlah kejadian tanah longsor 5 tahun terakhir dari periode tahun 2015 sampai tahun 2019, yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Kejadian tersebut mengakibatkan kerusakan infrastruktur, kerugian material, korban jiwa dan sebagainya. Lihawa (2017), mendefinisikan tanah longsor sebagai suatu produk dari proses gangguan keseimbangan lereng yang menyebabkan Bergeraknya massa tanah dan batuan ke tempat yang lebih rendah. Indrasgoro (2013), juga menyatakan bahwa longsor merupakan perpindahan massa tanah secara alami yang terjadi dalam waktu singkat dengan volume yang besar. Pengangkutan massa tanah terjadi sekaligus, sehingga tingkat kerusakan yang ditimbulkan besar.

Terjadinya tanah longsor pada umumnya disebabkan oleh faktor pendorong yang mempengaruhi kondisi material dan faktor pemicu yang menyebabkan Bergeraknya material tersebut. Menurut Pradhan (2010), beberapa faktor yang menjadi penyebab tanah longsor yaitu; kemiringan lereng, kelengkungan, jarak dari drainase/sungai, semuanya dari basis data topografi; litologi diambil dari basis data geologi; tutupan lahan dari citra satelit; dan distribusi curah hujan dari data meteorologi. Tazik, dkk. (2014), juga mengungkapkan beberapa faktor diantaranya ketinggian, jarak dari patahan dan jarak dari jalan. Melihat dampak dan penyebab terjadinya tanah longsor tersebut, diperlukan identifikasi serta pemetaan untuk mengetahui tingkat kerawanan tanah longsor. Salah satu caranya dengan

memanfaatkan sistem informasi geografis (SIG) dan menggunakan pendekatan metode *frequency ratio* serta *fuzzy logic*.

Menurut Pratiwi (2018), metode *frequency ratio* merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi kejadian tanah longsor di masa depan dengan menggunakan kondisi yang sama dengan kejadian tanah longsor di masa lalu. Sedangkan metode *fuzzy logic* merupakan sistem cerdas yang dapat digunakan sebagai sistem kontrol serta pemecahan masalah dalam mendeteksi daerah tanah longsor dengan cara menggunakan fitur *spatial analysis tools* berupa *fuzzy overlay* yang terdapat pada software ArcGIS (Effendi & Hariyanto, 2016). Dari kombinasi kedua metode ini akan menghasilkan data spasial berupa pemetaan kerawanan tanah longsor dengan beberapa faktor yang diklasifikasikan menjadi beberapa kelas dalam bentuk zonasi berdasarkan karakternya.

Salah satu wilayah yang akan dianalisis tingkat kerawanannya dengan menggunakan kombinasi kedua metode tersebut adalah Sub DAS Jenelata. Londongsalu (2008), menyatakan bahwa masalah di wilayah Sub DAS Jenelata saat ini adalah terjadinya longsor yang mempengaruhi kehidupan masyarakat, baik itu skala kecil maupun skala besar. Bencana longsor menyebabkan kerusakan areal diakibatkan konversi hutan menjadi areal penggunaan lain yang tidak memperhatikan kaidah-kaidah konservasi sehingga merusak keberadaan ekosistem DAS Jeneberang. Hal lainnya juga disebabkan penambahan populasi manusia yang menjadi faktor perubahan penggunaan fungsi lahan. Semakin meningkatnya jumlah penduduk dan penggunaan lahan di wilayah Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang memberi dampak negatif dan berpengaruh nyata terhadap peningkatan tingkat kekritisian lahan. Sejalan dengan semakin meluasnya areal lahan kritis tersebut, pada beberapa tahun terakhir ini kondisi hidrologis Sub DAS Jenelata menunjukkan daya dukung yang semakin menurun.

Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian untuk menganalisis tingkat kerawanan tanah longsor. Analisis terapan mengenai kerawanan tanah longsor di Sub DAS Jenelata, dapat menjadi upaya penanggulangan bencana longsor. Hal ini juga diharapkan menjadi sumber informasi untuk masyarakat serta pemerintah sehingga membantu dalam perencanaan dan pengembangan wilayah Sub DAS Jenelata.

## **1.2 Tujuan dan Kegunaan**

Berdasarkan uraian diatas, maka tujuan dan kegunaan dari penelitian ini yaitu:

- a. Mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap tanah longsor di Sub DAS Jenelata.
- b. Membuat peta kerawanan tanah longsor pada Sub DAS Jenelata.

Penelitian ini diharapkan menjadi sumber informasi bagi masyarakat juga pemerintah dalam mewujudkan upaya penanggulangan bencana tanah longsor di wilayah Sub DAS Jenelata.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Daerah Aliran Sungai

Suatu wilayah daratan yang secara topografi dibatasi oleh punggung-punggung bukit yang berfungsi menerima air hujan, menampung dan menyimpannya kemudian mengalirkannya ke laut melalui sungai utama merupakan Daerah Aliran Sungai (DAS). Wilayah daratan tersebut dinamakan daerah tangkapan air (DTA atau *catchment area*), DTA adalah suatu ekosistem dengan unsur utamanya terdiri atas sumber daya alam (tanah, air, dan vegetasi) dan sumberdaya manusia sebagai pemanfaat sumberdaya alam. DAS terbagi menjadi daerah hulu, tengah dan hilir. Daerah hulu yang dicirikan sebagai daerah konservasi, mempunyai kerapatan drainase yang lebih tinggi, merupakan daerah dengan kemiringan lereng lebih besar (lebih besar dari 15%), bukan merupakan daerah banjir, pengaturan pemakaian air ditentukan oleh pola drainase. Daerah hilir dicirikan sebagai daerah pemanfaatan, kerapatan drainase lebih kecil, merupakan daerah dengan kemiringan lereng kecil sampai sangat kecil (kurang dari 8%), pada beberapa daerah tertentu merupakan daerah banjir (genangan), pengaturan pemakaian air ditentukan oleh bangunan irigasi. Daerah tengah dicirikan sebagai daerah transisi dari kedua karakteristik biogeofisik DAS yang berbeda antara hulu dan hilir (Asdak, 2010).

Sungai Jenelata merupakan anak sungai Jeneberang yang mempunyai lembah sungai lebar sampai dengan pertemuan sungai Jeneberang. Alur sungai Jenelata ini didominasi oleh dataran aluvial di bagian tengah dan hilir, sedangkan di bagian hulu dari aliran sungai merupakan daerah pegunungan yang terjal. Topografi cekungan sungai Jenelata di bawah punggung pegunungan mempunyai lereng terjal dengan ketinggian antara 150-200 m dari alur sungai, pada bagian bawah mempunyai lereng landai dengan ketinggian 10 m dari dasar sungai dan alur sungai Sapaya dan Tokka berada dibawah endapan teras (Adsah, 2015).

Sungai Jenelata mengalir Daerah Aliran Sungai Jeneberang, maka dari itu dikatakan sebagai Sub DAS Jenelata. Sub DAS ini memiliki luasan kedua terbesar setelah Jeneberang Hilir dari empat Sub DAS (Jeneberang hilir, Malino, Lengkesa,

Jenelata) yang ada di DAS Jeneberang, Sub DAS Jenelata memiliki luas sekitar 22.883,50 ha, dengan kata lain 28,86% dari luas total DAS Jeneberang (79.250 ha). Panjang sungai Sub DAS Jenelata sendiri berdasarkan ordo per Sub DAS yaitu sepanjang 2.211,80 km. Sub DAS Jenelata secara administrasi berada wilayah kecamatan Manuju, Kecamatan Bungaya, dan Kecamatan Bontolempangan, memiliki topografi bergunung dengan curah hujan yang tinggi, merupakan daerah tangkapan air hujan, terdapat sumber mata air yang digunakan untuk persawahan, sumber air minum, perkebunan dan kehutanan (Londongsalu, 2008).

## **2.2 Tanah Longsor**

### **2.2.1 Pengertian Longsor**

Longsor (*landslide*) adalah suatu bentuk erosi yang pengangkutan atau pemindahan atau gerakan tanah terjadi pada saat bersamaan dalam volume besar. Berbeda dari bentuk erosi lainnya, pada tanah longsor pengangkutan tanah dalam volume besar terjadi sekaligus. Longsor terjadi sebagai akibat meluncurnya suatu volume tanah diatas suatu lapisan agak kedap air yang jenuh air. Lapisan kedap air tersebut terdiri atas liat atau mengandung liat tinggi atau batuan lain seperti napal liat (*clay shale*) yang setelah jenuh air berlaku sebagai tempat meluncur (Arsyad, 2010).

Tanah longsor umumnya terjadi pada musim hujan, dengan curah hujan rata-rata bulanan > 400 mm/bulan. Tanah yang bertekstur kasar akan lebih rawan longsor bila dibandingkan dengan tanah yang bertekstur halus (liat), karena tanah yang bertekstur kasar mempunyai kohesi agregat tanah yang rendah. Jangkauan akar tanaman dapat mempengaruhi tingkat kerawanan longsor, sehubungan dengan hal tersebut wilayah tanaman pangan semusim akan lebih rawan longsor bila dibandingkan dengan tanaman tahunan (keras) (Indrasmoro, 2013).

### **2.2.2 Mekanisme Terjadinya Longsor**

Terjadinya bencana alam gerakan tanah ataupun longsor terutama karena gangguan secara alamiah pada kestabilan tanah dan atau batuan penyusun lereng, baik yang bersifat alamiah maupun non alamiah (Achmad, 2010), sedangkan menurut Priyono, dkk. (2006), terjadinya bencana longsor dapat dipercepat karena

dipicu oleh manusia, seperti perubahan tata guna lahan yang tidak terkontrol. Arsyad (2010), menyatakan akan terjadi longsor jika terpenuhi tiga keadaan, yaitu: (1) lereng yang cukup curam, sehingga volume tanah dapat bergerak atau meluncur ke bawah, (2) terdapat lapisan di bawah permukaan tanah yang kedap air dan lunak yang merupakan bidang luncur, dan (3) terdapat cukup air dalam tanah, sehingga lapisan tanah tepat di atas lapisan kedap air menjadi jenuh .

Pada prinsipnya tanah longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar daripada gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah, sedangkan daya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut lereng, air beban serta berat jenis tanah batuan. Proses terjadinya tanah longsor dapat diterangkan sebagai berikut: air yang meresap ke dalam tanah akan menambah bobot tanah. Jika air tersebut menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah licin dan tanah pelapukan di atasnya bergerak mengikuti lereng dan luar lereng (Nandi, 2007).

### **2.2.3 Parameter yang Mempengaruhi Longsor**

#### **a. Penggunaan lahan / Tutupan lahan**

Penggunaan lahan/tutupan lahan memberikan kontrol atas tanah longsor dan dianggap penting setelah kemiringan lereng, karena aktivitas manusia dan akibatnya deforestasi yang telah mengubah stabilitas lereng (Mohan, dkk., 2011). Menurut Arsyad, dkk. (2018), minimnya penutupan lahan dan vegetasi, membuat perakaran sebagai pengikat tanah menjadi berkurang dan mempermudah tanah menjadi retak pada musim kemarau dan pada musim penghujan air akan meresap ke dalam lapisan tanah melalui retakan tersebut dan menyebabkan lapisan tanah menjadi jenuh air dan hal ini yang mengakibatkan terjadinya longsor. Akhsar (2014), menyatakan tanah longsor sering terjadi di daerah tata lahan persawahan, perladangan dan adanya genangan air di lereng yang terjal.

#### **b. Kemiringan lereng**

Kelerengan sangat berpengaruh besar terhadap terjadinya tanah longsor, semakin terjal kemiringan lereng akan semakin besar peluang terjadinya tanah longsor. Lereng yang rentan akan tanah longsor umumnya memiliki tutupan vegetasi berupa tanaman yang berakar serabut, tetapi tidak menutup

kemungkinan dengan vegetasi pohon yang massanya besar dengan jarak tanam yang rapat terlepas dari potensi bencana tanah longsor. Tidak semua lahan dengan kondisi miring mempunyai potensi untuk longsor, tergantung karakter lereng terhadap respon pemicu terutama respon lereng terhadap curah hujan (Arsyad, dkk., 2018).

c. Kelengkungan Bumi

Istilah kelengkungan secara teoritis didefinisikan sebagai laju perubahan gradien lereng atau aspek, biasanya dalam arah tertentu (Pourghasemi, dkk., 2012). Kelengkungan permukaan pada suatu titik adalah kelengkungan garis yang dibentuk oleh persimpangan permukaan dengan bidang orientasi yang spesifik, dengan melewati titik tersebut. Bentuk lengkung atau kemiringan memiliki tiga kategori: 1. cekung (nilai negatif), 2. cembung (nilai positif) dan 3. datar (nilai nol) (Gholami, dkk., 2019). Parameter ini merupakan salah satu faktor yang mengendalikan tanah longsor.

d. Topografi, Geomorfologi, Litologi

Kemiringan dan panjang lereng adalah dua unsur topografi yang paling berpengaruh terhadap longsor. Unsur lain yang mungkin berpengaruh adalah konfigurasi, keseragaman, dan arah lereng. Semakin curam lereng, maka semakin besar kemungkinan gerakan tanah dari atas ke bawah lereng. Hubungan litologi dengan longsor terlihat jelas antara lain yaitu bahan sedimen tersier dari kombinasi pasir dan liat memberikan intensitas longsor paling tinggi, diikuti oleh bahan piroklastik lepas (Barus, 1999).

e. Curah Hujan

Curah hujan merupakan salah satu faktor pemicu terjadinya tanah longsor. Curah hujan yang tinggi akan menentukan terjadi atau tidaknya longsor pada daerah terjal. Jika hujan deras berlangsung cukup lama (beberapa jam/beberapa hari) kemudian disusul dengan hujan deras sesaat, maka akan mudah terjadi longsor. Air hujan yang menimpa tanah-tanah terbuka akan menyebabkan tanah terdispersi, selanjutnya sebagian dari air hujan yang jatuh tersebut akan mengalir diatas permukaan tanah. Banyaknya air yang mengalir di atas permukaan tanah tergantung pada kemampuan tanah untuk menyerap air (kapasitas infiltrasi). Oleh karena itu untuk mencegah terdispersi, perlu

adanya vegetasi yang menutupi permukaan tanah sehingga air yang turun diserap oleh vegetasi (Arsyad, dkk., 2018)

f. Ketinggian

Ketinggian merupakan salah satu penentu kerawanan tanah longsor. Semakin tinggi suatu tempat, semakin besar kekuatan tanah yang terjatuh karena adanya pengaruh gravitasi. Beberapa peneliti menggunakan ketinggian sebagai parameter pengendali longsor. Beberapa peneliti juga telah menemukan bahwa aktivitas longsor dengan cekungan tertentu terjadi pada ketinggian tertentu (Tazik, dkk., 2014).

g. Jarak dari Patahan

Bentuk patahan ditandai dengan batuan yang retak (Pourghasemi, dkk., 2012). Diskontinuitas batuan dan tanah sebagai sebuah patahan adalah faktor utama yang mempengaruhi tanah longsor. Semakin jauh jarak dari patahan memiliki probabilitas kejadian tanah longsor yang lebih rendah (Gholami, dkk., 2019).

h. Jarak dari Sungai

Secara umum, potensi tanah longsor meningkat dengan berkurangnya jarak ke sungai. Aliran sungai berdampak buruk terhadap stabilitas dari mengikisnya lereng atau bagian bawah material yang mengalami kejenuhan, sehingga hasilnya permukaan air meningkat (Ercanoglu & Gokceoglu, 2004 dalam Tazik, dkk., 2014). Pengaruh aliran dalam mengikis sehingga terjadi erosi dasar sungai dan sisi lereng (lembah) berperan besar dalam mengurangi kestabilan lereng (Barus, 1999).

i. Jarak dari Jalan

Jarak dari jalan merupakan salah satu parameter yang mencerminkan aktivitas manusia. Dengan kata lain, tanah longsor dapat terjadi di lereng yang berpotongan dengan jalan. Menurut penelitian terbaru, memotong lereng untuk konstruksi jalan raya dan getaran frekuensi oleh mobil akan menyebabkan tanah longsor (Tazik, dkk., 2014).

### 2.3 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis adalah sebuah sistem mengintegrasikan berbagai sumber daya fisik dan logika-logika perhitungan dan analisa yang berhubungan dengan objek-objek yang terdapat di permukaan bumi. SIG telah berbasiskan teknologi komputer berupa perangkat lunak yang mampu mengerjakan proses pemasukan (*input*), penyimpanan, manipulasi, menampilkan, dan mengeluarkan informasi geografis. Dalam SIG, dunia nyata direpresentasikan dalam layar komputer. Data-data dalam SIG bersifat fleksibel dan hal ini yang menjadi keuntungan dibandingkan ketika bekerja menggunakan peta konvensional (lembaran-lembaran kertas). Peta yang tampil dalam SIG merupakan perpaduan data antara gambar (*image*) dengan data-data tabulasi baik itu berupa angka maupun teks. Tidak seperti data-data angka dan teks pada sistem informasi pada umumnya, data-data dalam SIG adalah data yang sangat terkait dengan kondisi gambar petanya. Perubahan dimensi dari objek-objek gambar pada peta digital, mempengaruhi data-data yang terkandung di dalamnya (Aqli, 2010).

Adapun beberapa komponen dari sistem informasi geografis adalah sebagai berikut (Gistut, 1994):

#### a. Perangkat Keras

SIG tersedia untuk berbagai *platform* perangkat keras mulai dari PC desktop, *workstations*, sampai *multi user host* yang dapat digunakan oleh banyak orang secara bersamaan dalam jaringan komputer yang luas, berkemampuan tinggi, memiliki ruang penyimpanan (*hard disk*) yang besar, dan mempunyai kapasitas memori (RAM) yang besar. Walaupun demikian fungsionalitas SIG tidak terkait ketat terhadap karakteristik-karakteristik fisik perangkat keras ini sehingga keterbatasan pada memori PC-pun dapat diatasi. Adapun perangkat keras yang sering digunakan untuk SIG adalah PC, *mouse*, *digitizer*, *printer*, *plotter*, dan *scanner*.

#### b. Perangkat Lunak

Dari sisi lain, SIG juga merupakan sistem perangkat lunak yang tersusun secara modular dimana basis data memegang peranan penting karena setiap subsistem diimplementasikan dengan menggunakan perangkat lunak yang

terdiri dari beberapa modul, sehingga SIG juga terdiri dari ratusan model program (.exe) yang masing-masing dapat dieksekusi.

c. Data dan Informasi Geografi

SIG dapat mengumpulkan serta menyimpan data dan informasi yang diperlukan baik secara tidak langsung dan mengimportnya dari perangkat-perangkat lunak SIG yang lainnya maupun secara langsung dengan cara mendigitasi data spasialnya dari peta dan memasukkan data atributnya dari tabel-tabel dan laporan dengan menggunakan *keyboard*. Menurut As-syakur (2009) dalam Adnyana & As-syakur (2012), pada pengaplikasian SIG terbagi atas dua bentuk struktur data yaitu; data raster dan data vektor. Dari kedua struktur tersebut masing-masing memiliki kelebihan serta kelemahan, struktur data raster dapat mempermudah dalam tumpang susun namun informasi dalam atribut tidak selengkap struktur data vektor. Hal lainnya ialah data raster memiliki keunggulan yaitu kemampuannya dalam berintegrasi dengan data penginderaan jauh sehingga memudahkan pengguna dalam mengkombinasikan data-data SIG dengan data-data penginderaan jauh, akan tetapi struktur data raster memerlukan ruang penyimpanan (*hard disk*) yang lebih besar dibandingkan dengan struktur data vektor, sehingga hal ini menjadi kelebihan dari data vektor dalam menyimpan data.

d. Manajemen

SIG menghubungkan sekumpulan unsur-unsur peta dengan atribut-atributnya di dalam satuan-satuan yang disebut *layer*. Sungai, bangunan, jalan, laut, batas-batas administrasi, perkebunan dan hutan merupakan contoh dari *layer*. Kumpulan dari *layer* ini akan membentuk basis data SIG. Dengan demikian perancangan basis data merupakan hasil yang esensial di dalam SIG. Rancangan basis data akan menentukan efektifitas dan efisiensi proses-proses masukan, pengolahan, dan keluaran SIG.

## 2.4 Metode *Frequency Ratio*

*Frequency Ratio* adalah rasio antara area kejadian longsor terhadap total area dan juga rasio probabilitas kejadian longsor terhadap ketidakjadian longsor untuk faktor atribut yang diberikan. Oleh karena itu, semakin besar rasionya, semakin

besar hubungan antara kejadian longsor dengan faktor yang terkait dengan longsor tersebut. Semakin kecil rasionya, semakin kecil hubungan antara kejadian longsor dan faktor yang terkait (Lee & Pradhan, 2006). Menurut Nusantara & Setianto (2015), Frequency ratio didasarkan kepada hubungan antara lokasi kejadian tanah longsor dan faktor-faktor yang mempengaruhi longsor. Faktor-faktor tersebut dikonstruksikan dan ditumpang-tindihkan menggunakan GIS sehingga menghasilkan peta bahaya tanah longsor.

Lee & Pradhan (2006), juga menyatakan bahwa nilai Fr dihitung untuk masing-masing faktor dengan menggunakan data atribut di ArcGIS. Asumsi kunci saat menggunakan pendekatan probabilitas frekuensi rasio adalah kemungkinan kejadian longsor sebanding terhadap frekuensi longsor sesungguhnya. Area longsor di deteksi dengan interpretasi udara. Kemudian, peta lokasi longsor yang diperoleh dari foto udara dikombinasikan dengan data GIS dan digunakan untuk mengevaluasi frekuensi dan distribusi longsor di area yang sedang dianalisis.

## **2.5 Metode *Fuzzy Logic***

*Fuzzy* secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samar-samar. Suatu nilai dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan. Dalam *fuzzy* dikenal derajat keanggotaan yang memiliki rentang nilai 0 (nol) hingga 1 (satu). *Fuzzy Logic* digunakan untuk menerjemahkan suatu besaran yang diekspresikan menggunakan bahasa (*linguistic*) (Nasution, 2012). Menurut Wibowo, dkk. (2016), *Fuzzy Logic* merupakan metode yang mempunyai kemampuan untuk memproses variabel yang bersifat kabur atau yang tidak dapat dideskripsikan secara eksak/pasti seperti misalnya tinggi, lambat, bising, dll. Dalam *fuzzy logic*, variabel yang bersifat kabur tersebut direpresentasikan sebagai sebuah himpunan yang anggotanya adalah suatu nilai crisp dan derajat keanggotaannya (*membership function*) dalam himpunan tersebut.

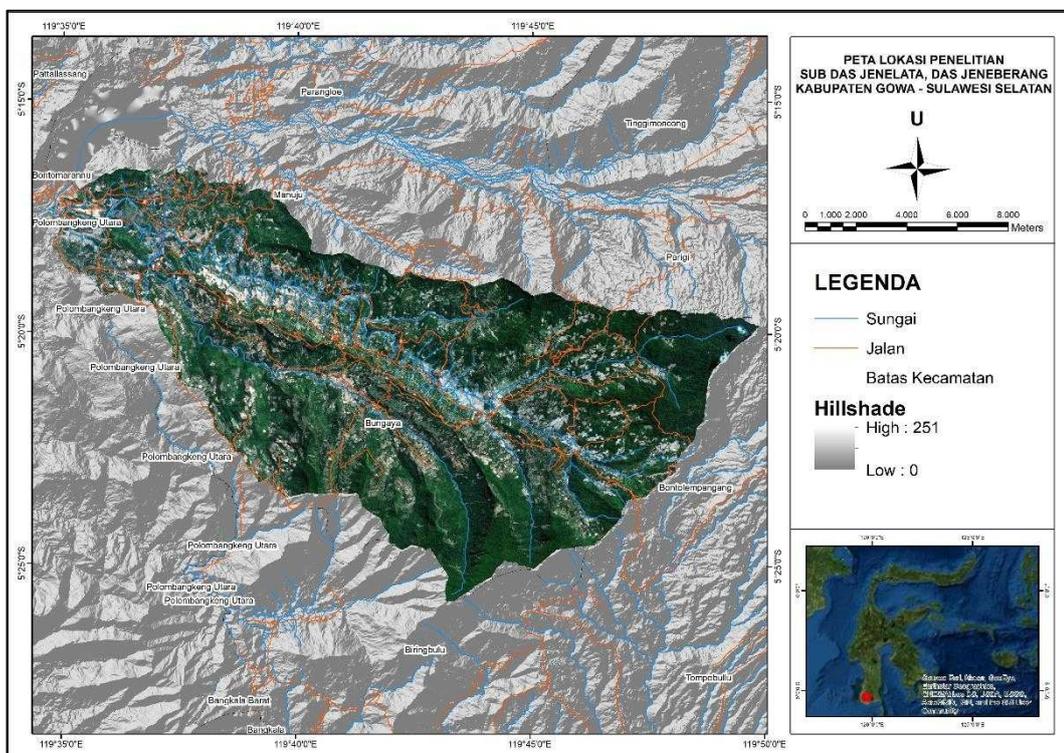
Pendekatan *fuzzy logic* apabila dikombinasikan dengan penginderaan jauh dan sistem informasi geografis dapat memberikan hasil dengan akurasi yang akurat dalam memprediksi sebaran wilayah rentan akan longsor (Nithya, dkk., 2012 dalam Saputra, dkk., 2019) . Sistem cerdas berbasis *fuzzy logic* dapat digunakan sebagai pemeriksaan penyaring untuk penentuan tingkat kerawanan longsor pada suatu

daerah tertentu. Pemakaian sistem ini dengan cara memasukkan parameter yang berpengaruh terhadap longsor ke dalam sistem yang selanjutnya diproses dengan menggunakan metode *fuzzy logic* dan hasilnya akan ditampilkan sesuai dengan input data yang telah dimasukkan oleh pengguna (Akhsar, 2014). Menurut Chung & Fabbiri (2001) dalam Anbalagan, dkk., (2015) bahwa dalam penggunaannya, *fuzzy logic* memiliki beberapa operator penting yaitu *Fuzzy And*, *Fuzzy Or*, *Fuzzy Algebraic Product*, *Fuzzy Algebraic Sum* dan *Fuzzy Gamma*. Pilihan operator *fuzzy* tergantung pada jenis data spasial yang akan diintegrasikan serta disesuaikan untuk mencapai hasil yang optimal dalam memprediksi kerawanan longsor (Choi, dkk., 2000 dalam Anbalagan, dkk., 2015)

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang, Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan. Rangkaian penelitian ini dilakukan selama 5 bulan yaitu bulan Juli sampai dengan November 2020. Untuk pengolahan data dilakukan di Laboratorium Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin.



Gambar 1. Peta Batas Sub DAS Jenelata

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini, adalah :

- Laptop yang dilengkapi dengan perangkat lunak sistem informasi geografis aplikasi ArcMap 10.6.1, SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) dan *Ms. Excel* untuk melakukan analisis data
- Kamera yang digunakan untuk dokumentasi

c. Alat tulis menulis untuk mencatat data-data hasil pengamatan lapangan.

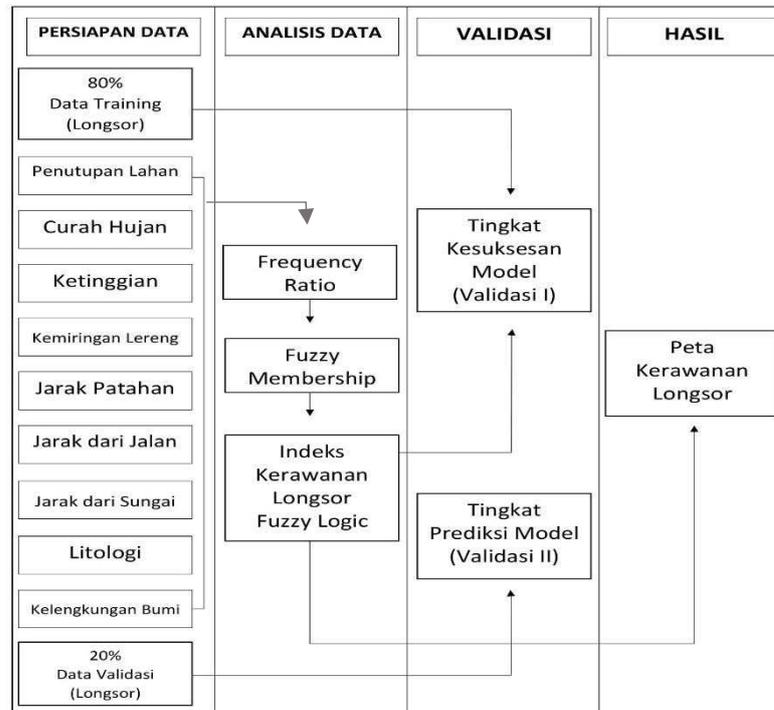
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, adalah :

- a. Peta batas Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang
- b. Peta Geologi skala 1: 250.000 Tahun 1995
- c. Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1: 50.000 Tahun 1999
- d. DEM Nasional Tahun 2010
- e. Citra *Sentinel* - 2B Tahun 2019
- f. Citra *Time Series* dari *Google Earth Pro* tahun 2015-2019
- g. Data Curah Hujan BMKG tahun 2015-2019

### 3.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

#### 3.3.1 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan serta pengolahan data menggunakan aplikasi pemetaan (ArcMap 10.6.1) dengan membuat data spasial inventarisasi tanah longsor dan data faktor penyebab tanah longsor. Dua data tersebut merupakan hal penting dalam penelitian ini, untuk menyusun peta kerawanan tanah longsor. Secara garis besar pengumpulan juga pengolahan data untuk penelitian ini digambarkan pada gambar 2.



Gambar 2. Kerangka Penelitian

a. Inventarisasi Longsor

Inventarisasi longsor didapatkan melalui survei lapangan dengan metode *random sampling* dan interpretasi citra penginderaan jauh berdasarkan karakteristik spektral, bentuk, dan kontras (Soma & Kubota, 2017). Data longsor yang didapatkan berasal dari digitalisasi resolusi tinggi dengan pencitraan deret waktu dari *Google Earth Pro* ke ArcMap 10.6.1, file-file ini disimpan sebagai format yang kompatibel dengan GIS yaitu (.kml). Kemudian, diekstrak file yang telah dikonversi menjadi format raster 10 x 10 meter.

b. Parameter Kerawanan Longsor

Terdapat beberapa parameter penyebab tanah longsor yang menjadi variabel dalam penelitian ini, yaitu: (1) Penutupan Lahan, (2) Kemiringan lereng, (3) Kelengkungan bumi, (4) Litologi, (5) Curah Hujan, (6) Ketinggian (7) Jarak Patahan, (8) Jarak dari Sungai, dan (9) Jarak dari Jalan. Data dari parameter tersebut akan diperoleh dari sumber yang berbeda sesuai dengan ketersediaan data. Hal ini selaras dengan pernyataan Soma & Kubota (2017), dimana faktor-faktor penyebab dipilih berdasarkan ketersediaan data dan berdasarkan penelitian sebelumnya. Dari data yang dikumpulkan, akan digunakan 80% untuk data *training* dan 20% untuk validasi data. Pemilihan data akan dilakukan secara acak menggunakan ArcMap 10.6.1.

### 3.4 Analisis Data

Setelah data diperoleh, maka tahap selanjutnya adalah melakukan analisis dan perhitungan. Untuk membuat peta kerawanan tanah longsor, metode *frequency ratio* yang digunakan pertama untuk menghitung *fuzzy membership*. Nilai normalisasi dari *frequency ratio* tanah longsor digunakan sebagai fungsi *fuzzy membership* (Pradhan, dkk., 2010). Nilai rasio di setiap kelas menunjukkan tingkat hubungan nilai rasio frekuensi yang dihitung dengan rumus (Soma & Kubota, 2017):

$$Fr = \frac{PxL (nm) / \sum PnxL}{Pixel (nm) / \sum Pnx} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

$P_{xL}$  = jumlah pixel dengan tanah longsor di dalam kelas n dari parameter m (nm)

Pixel = jumlah pixel di kelas n dari parameter m (nm)

$\sum P_{nxL}$  = total piksel dari parameter m

$\sum P_{nx}$  = keseluruhan piksel dari area

Setelah dilakukan pengolahan nilai *frequency ratio*, langkah selanjutnya adalah pengolahan *fuzzy membership* untuk penggunaan metode *fuzzy logic*. Data spasial yang diperoleh, diinput dan digunakan pada masing-masing operator *fuzzy* yang berada pada aplikasi ArcMap 10.6.1. Hasil dari *fuzzy overlay* dimasukkan ke dalam *attribute table* titik longsor yang telah dibuat untuk identifikasi dan klasifikasi sebaran kerawanan tanah longsor di lokasi penelitian (Saputra dkk., 2019).

Menurut Pradhan (2010), terdapat 5 operator, yaitu *fuzzy AND*, *fuzzy OR*, *fuzzy algebraic product*, *fuzzy algebraic sum* dan *gamma fuzzy operator*. Penelitian ini menggunakan 5 operator untuk kombinasi fungsi *fuzzy membership* dan pembuatan indeks kerawanan tanah longsor. Persamaan yang akan digunakan dalam membuat peta kerawanan longsor, yaitu:

a. *Fuzzy AND*

$$m_{\text{combination}} = \text{MIN} (m_A, m_B, m_C, \dots) \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

m combination = perhitungan fungsi *fuzzy membership*

$m_{A,B,C, \text{dst.}}$  = nilai untuk peta A,B,C, dst. yang berada di lokasi penelitian.

b. *Fuzzy OR*

$$m_{\text{combination}} = \text{MAX} (m_A, m_B, m_C, \dots) \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

m combination = perhitungan fungsi *fuzzy membership*

$m_{A,B,C}$  = nilai untuk peta A,B,C, dst. yang berada di lokasi penelitian.

c. *Fuzzy Algebraic Product*

$$m_{\text{combination}} = \prod_{i=1}^n m_i \dots \dots \dots (4)$$

dimana:

$m_i$  = fungsi *fuzzy membership* untuk peta ke- $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$  peta yang akan dikombinasi)

d. *Fuzzy Algebraic Sum*

$$m_{\text{combination}} = \prod_{i=1}^n (1 - m_i) \dots \dots \dots (5)$$

dimana:

$m_i$  = fungsi *fuzzy membership* untuk peta ke- $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$  peta yang akan dikombinasi)

e. *Gamma Operation*

$$\text{Combination} = (\text{Fuzzy algebraic sum})^{1-l} (\text{Fuzzy algebraic product})^{l-1} \dots \dots (6)$$

dimana:

$l$  = adalah parameter yang dipilih rentan (0,1)

*Fuzzy algebraic sum* dan *Fuzzy algebraic product* = perhitungan yang digunakan untuk persamaan masing-masing (3) dan (4).

Selanjutnya, setelah mengolah data menggunakan operator *fuzzy* (2,3,4,5 dan 6) dilakukan pembuatan peta kerawanan tanah longsor dengan *tools fuzzy overlay*. Tingkat kerawanan pada *fuzzy overlay* terdiri dari sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Klasifikasi untuk menentukan kelas kerawanan menggunakan model *natural break (Jenks)* yang ada pada ArcMap 10.6.1.

### 3.5 Validasi Data

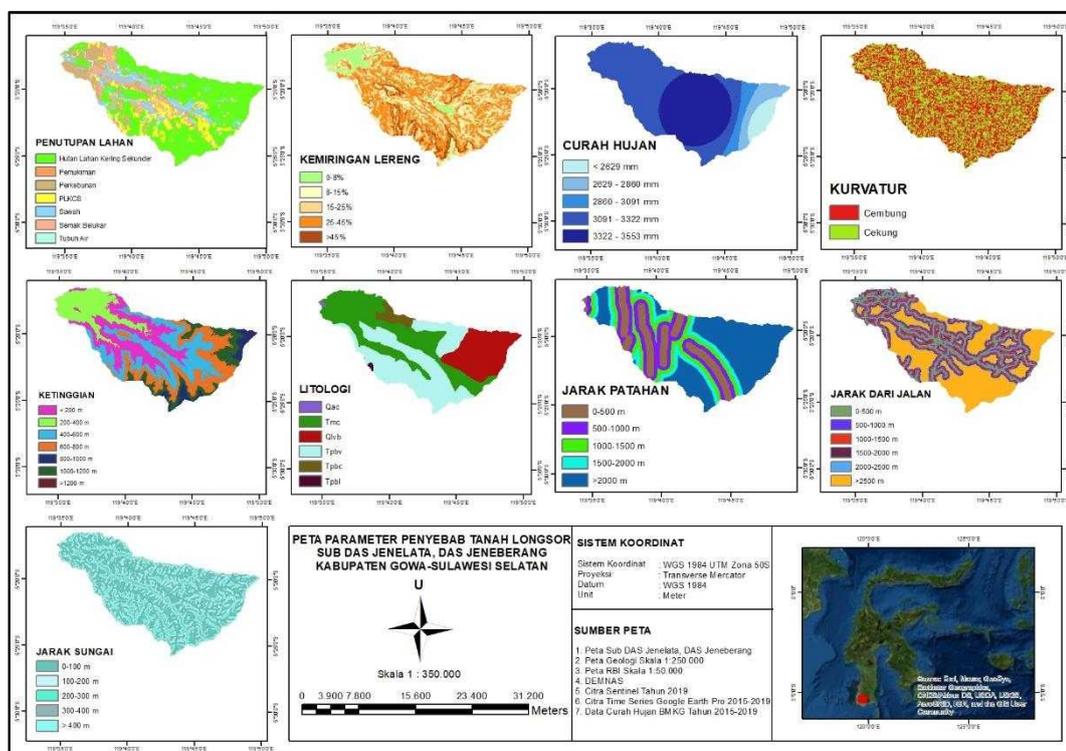
Validasi data dilakukan untuk mengetahui keakuratan peta yang dibuat menggunakan pendekatan *fuzzy logic*. Data ini menentukan nilai kesesuaian dengan menggunakan data validasi lapangan yang memberikan estimasi bahwa data lapangan sebagai data yang dianggap benar dan paling sesuai dengan kondisi risiko yang sebenarnya. Menurut Fadilah, dkk. (2019), hasil validasi memperlihatkan nilai akurasi prediksi berdasarkan AUC (*Area Under Curve*) melalui analisis ROC

(*Receiver Operating Characteristic*) dengan menggunakan *software* SPSS. Tingkat keberhasilan AUC didapat dari *training* data dan prediksi yang dihitung dari validasi data ROC (Soma & Kubota, 2017).



## 4.2 Parameter Kerawanan longsor

Parameter yang menjadi faktor penyebab terjadinya tanah longsor didasari oleh studi literatur, kondisi tempat penelitian dan sumber data yang tersedia. Terdapat 9 faktor yang telah diidentifikasi, yaitu penutupan lahan, kemiringan lereng, kelengkungan bumi, litologi, curah hujan, ketinggian, jarak patahan, jarak dari sungai, dan jarak dari jalan. Data faktor- faktor tersebut diperoleh dari sumber yang berbeda, data penutupan lahan diperoleh dari citra *Sentinel 2-B* Tahun 2019 (<https://schihub.copernicus.eu>), data curah hujan diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Sulawesi Selatan, data jarak dari jalan diperoleh dari peta RBI Skala 1:50.000 (Badan Informasi Geospasial), data litologi dan jarak patahan diperoleh dari peta Geologi skala 1:250.000 (Lembaga Penelitian Geologi), dan data kemiringan lereng, kelengkungan bumi, ketinggian serta jarak dari sungai diperoleh dari DEM Nasional (Badan Informasi Geospasial). Analisis raster yang dilakukan selama penelitian menggunakan metode *frequency ratio* dan *fuzzy logic*, dari hasil tersebut diperoleh peta, nilai serta grafik *frequency ratio* dan *fuzzy membership* pada parameter kerawanan longsor.



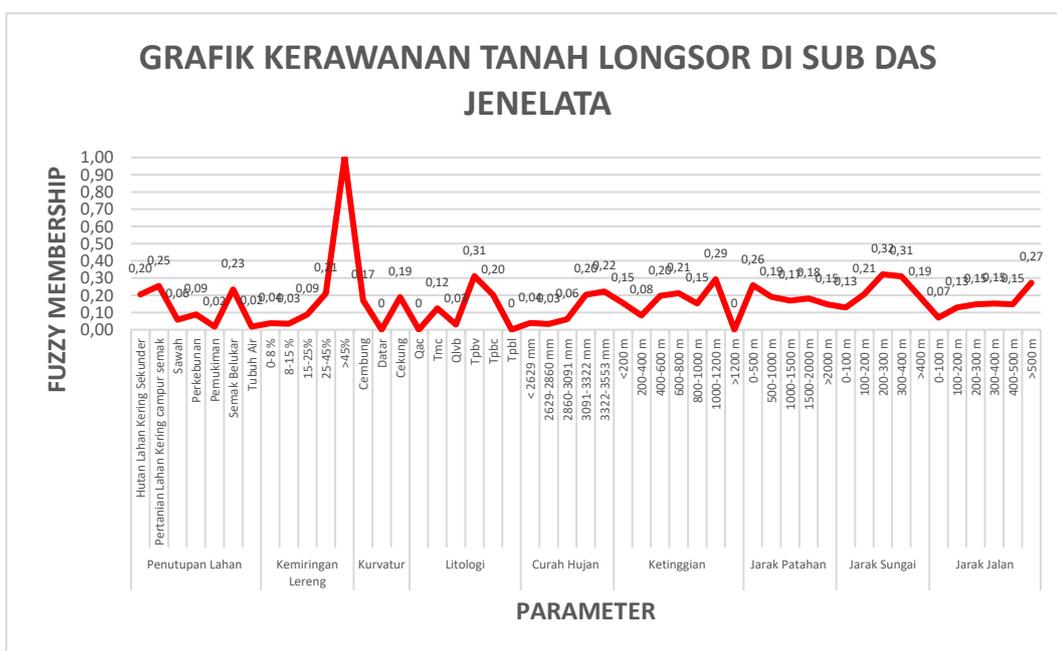
Gambar 4. Peta Parameter Penyebab Tanah Longsor

Tabel 1. Nilai *Frequency Ratio* dan *Fuzzy Membership* pada Parameter Kerawanan Longsor

PARAMETER	KELAS	PIKSEL LONGSOR	PERSENTASE	PIKSEL KELAS	PERSENTASE	FREQUENCY RATIO	FUZZY MEMBERSHIP
Penutupan Lahan	Hutan Lahan Kering Sekunder	55155	60,42	1203536	53,06	1,14	0,20
	Pertanian Lahan Kering Campur Semak	15033	16,47	263906	11,64	1,42	0,25
	Sawah	3198	3,50	245289	10,81	0,32	0,06
	Perkebunan	4537	4,97	230636	10,17	0,49	0,09
	Pemukiman	147	0,16	39037	1,72	0,09	0,02
	Semak Belukar	13078	14,33	250275	11,03	1,30	0,23
	Tubuh Air	137	0,15	35401	1,56	0,10	0,02
Kemiringan Lereng	0-8 %	1985	2,17	231975	10,23	0,21	0,04
	8-15 %	2259	2,47	298220	13,15	0,19	0,03
	15-25%	12543	13,74	635356	28,01	0,49	0,09
	25-45%	46111	50,51	975768	43,02	1,17	0,21
	>45%	28387	31,10	126761	5,59	5,56	1,00
Kelengkungan Bumi	Cembung	43871	48,06	1148379	50,63	0,95	0,17
	Datar	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	Cekung	47414	51,94	1119701	49,37	1,05	0,19
Litologi	Qac	0	0,00	4125	0,18	0,00	0,00
	Tmc	22893	25,08	824291	36,34	0,69	0,12
	Qlvb	3105	3,40	466192	20,55	0,17	0,03
	Tpbv	61739	67,63	888576	39,18	1,73	0,31
	Tpbc	3548	3,89	78965	3,48	1,12	0,20
	Tpbl	0	0,00	5931	0,26	0,00	0,00
Curah Hujan	< 2629 mm	1094	1,20	125917	5,55	0,22	0,04
	2629-2860 mm	1274	1,40	170495	7,52	0,19	0,03
	2860-3091 mm	1762	1,93	128743	5,68	0,34	0,06
	3091-3322 mm	47593	52,14	1043569	46,01	1,13	0,20
	3322-3553 mm	39562	43,34	799356	35,24	1,23	0,22
Ketinggian	<200 m	17036	18,66	493380	21,75	0,86	0,15
	200-400 m	6811	7,46	369172	16,28	0,46	0,08
	400-600 m	26092	28,58	593162	26,15	1,09	0,20
	600-800 m	22241	24,36	469376	20,69	1,18	0,21
	800-1000 m	3453	3,78	101504	4,48	0,85	0,15
	1000-1200 m	15652	17,15	239509	10,56	1,62	0,29
	>1200 m	0	0,00	1977	0,09	0,00	0,00
Jarak Patahan	0-500 m	21491	23,54	371400	16,38	1,44	0,26
	500-1000 m	17003	18,63	398399	17,57	1,06	0,19
	1000-1500 m	11695	12,81	308183	13,59	0,94	0,17
	1500-2000 m	9619	10,54	238101	10,50	1,00	0,18
	>2000 m	31477	34,48	951997	41,97	0,82	0,15
	0-100 m	36461	39,94	1267785	55,90	0,71	0,13

PARAMETER	KELAS	PIKSEL LONGSOR	PERSENTASE	PIKSEL KELAS	PERSENTASE	FREQUENCY RATIO	FUZZY MEMBERSHIP
Jarak Sungai	100-200 m	29898	32,75	646716	28,51	1,15	0,21
	200-300 m	18664	20,45	258946	11,42	1,79	0,32
	300-400 m	5786	6,34	83474	3,68	1,72	0,31
	>400 m	476	0,52	11159	0,49	1,06	0,19
Jarak Jalan	0-100 m	7433	8,14	477396	21,05	0,39	0,07
	100-200 m	7394	8,10	255848	11,28	0,72	0,13
	200-300 m	8884	9,73	270855	11,94	0,81	0,15
	300-400 m	5916	6,48	174541	7,70	0,84	0,15
	400-500 m	5700	6,24	172564	7,61	0,82	0,15
	>500 m	55958	61,30	916876	40,43	1,52	0,27

Sumber: Hasil Analisis SIG



Gambar 5. Grafik Nilai Fuzzy Membership di Sub DAS Jenelata

#### 4.2.1 Penutupan Lahan

Terbentuknya tutupan lahan pada Sub DAS Jenelata berdasarkan hasil klasifikasi yang telah dilakukan uji akurasi menggunakan *confusion matrix*. Terdapat 7 kelas pada sub DAS Jenelata, diantaranya ialah hutan lahan kering sekunder, pertanian lahan kering campur semak, sawah, perkebunan, pemukiman, semak belukar, dan badan air. Hasil dari pengolahan tersebut diperoleh nilai *fuzzy membership* pada masing-masing kelas tutupan lahan.

Tabel 2. Nilai *Fuzzy Membership* pada Penutupan Lahan

PARAMETER	KELAS	FUZZY MEMBERSHIP
Penutupan Lahan	Hutan Lahan Kering Sekunder	0,20
	Pertanian Lahan Kering Campur Semak	0,25
	Sawah	0,06
	Perkebunan	0,09
	Pemukiman	0,02
	Semak Belukar	0,23
	Tubuh Air	0,02

Sumber: data Citra *Sentinel 2-B* Tahun 2019 dan Citra *Time Series Google Earth Pro*

Berdasarkan pada tabel 2, diketahui bahwa pertanian lahan kering campur semak memiliki nilai paling tinggi sebesar 0,25, selanjutnya diikuti oleh semak belukar dengan nilai sebesar 0,23 dan hutan lahan kering sekunder dengan nilai sebesar 0,20. Hal ini menunjukkan bahwa masing-masing tutupan lahan tersebut memiliki tingkat kerentanan tanah longsor yang tinggi dikarenakan karakter lereng yang cukup tinggi pula. Selain itu faktor degradasi dan deforestasi juga menjadi pengaruh yang penting dengan mengubah stabilitas lereng. Pada perkebunan dan sawah nilai pada kedua tutupan lahan ini sebesar 0,09 dan 0,06, kondisi ini menunjukkan tingkat kerawanan longsor sedang pada parameter ini. Dari hasil analisis, terjadinya jenuh air yang mengakibatkan meningkatnya tekanan pori sehingga daya tahan geser tanah menjadi berkurang. Berbeda dengan pemukiman juga badan air, dimana nilainya tergolong rendah yaitu 0,02, meskipun begitu kedua tutupan lahan ini tetap memiliki potensi terjadinya longsor hal ini sesuai dengan pernyataan Cheng, dkk. (2007) dalam Tazik, dkk. (2014), bahwa longsor terjadi secara alamiah dan juga karena perilaku manusia, tentu dengan adanya aktivitas manusia dapat mempercepat terjadinya tanah longsor. Menurut Mohan, dkk. (2011), adapun aktivitas yang terjadi di perkotaan seperti pelebaran jalan dan pemerataan lahan menyebabkan perubahan kemiringan membentuk lereng yang curam sehingga akibat yang ditimbulkan juga cukup besar.

#### 4.2.2 Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng menjadi salah satu faktor topografi yang memiliki pengaruh besar terhadap kejadian longsor di Sub DAS Jenelata. Menurut Hermansyah (2015) dalam Sobirin, dkk. (2017), proses erosi, gerakan tanah, dan

pelapukan di suatu daerah tergantung pada bentuk lereng. Kemiringan lereng yang tersebar di wilayah Sub DAS Jenelata memiliki kelas yang sangat bervariasi mulai dari datar, landai, agak curam, curam hingga sangat curam.

Tabel 3. Nilai *Fuzzy Membership* pada Kemiringan Lereng

PARAMETER	KELAS	FUZZY MEMBERSHIP
Kemiringan Lereng	0-8 %	0,04
	8-15 %	0,03
	15-25 %	0,09
	25-45 %	0,21
	>45 %	1,00

Sumber: data DEMNAS

Bentuk topografi pada wilayah ini sebagian besar berupa dataran tinggi, topografi curam paling mendominasi dengan luas 9.849 ha (43% ) dari total luas Sub DAS dan hanya 10% dari Sub DAS Jenelata yang merupakan dataran, sehingga sangat berpotensi terjadinya longsor di wilayah ini. Hal ini didukung oleh nilai probabilitas yang didapatkan pada kemiringan lereng > 45% yaitu 1 diikuti 25-45% dengan nilai 0,21 dan nilai < 0 untuk kelas 0-8%, 8-15%, dan 15-25%. Sobirin, dkk., (2017), mengemukakan bahwa tingginya peluang terjadinya longsor pada suatu wilayah apabila semakin curam kemiringan lerengnya, dan sebaliknya akan semakin kecil peluang terjadinya longsor bila kecil besaran lereng pada wilayah tersebut.

#### 4.2.3 Kelengkungan Bumi

Kelengkungan bumi/morfologi lereng terbagi atas 3 yaitu dari bentuk cembung (*convex*), datar (*planar*), dan cekung (*concave*). Bentuk lereng pada suatu wilayah, memiliki pengaruh terhadap tanah longsor. Hal ini selaras dengan pernyataan Shaw dan Johnson (1995) dalam Putra (2014), bahwa pada proses penumpukan massa tanah dipengaruhi oleh air dalam tanah sehingga hal tersebut mempengaruhi pula bentuk lereng. Berdasarkan pada tabel 4, dapat dilihat hasil nilai *fuzzy membership* untuk parameter kelengkungan bumi.

Tabel 4. Nilai *Fuzzy Membership* pada Kelengkungan Bumi

PARAMETER	KELAS	FUZZY MEMBERSHIP
Kelengkungan bumi	Cembung	0,17
	Datar	0,00
	Cekung	0,19

Sumber: data DEMNAS

Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa bentuk lereng datar memiliki nilai 0, namun tidak menutup kemungkinan bahwa pada bidang tersebut memiliki peluang terjadinya longsor. Lereng dengan bentuk datar dapat menyebabkan longsor dangkal dan cepat (Shaw & Johnson, 1995 dalam Putra, 2014). Berbanding terbalik dengan bentuk lereng cembung yang memiliki nilai sebesar 0,17, dimana nilai tersebut menunjukkan rentan terjadinya longsor, hal ini sejalan dengan hasil pengamatan di lapangan menunjukkan adanya hubungan antara kelengkungan pada permukaan bumi (cembung) dengan kemiringan lereng serta dipengaruhi pula vegetasi yang menutupi permukaan tanah. Vegetasi memiliki peran penting dalam pengendalian longsor, yang mana melindungi tanah dari kerusakan dan memperbaiki kondisi tanah. Sedangkan pada lereng cekung dengan nilai paling tinggi yaitu sebesar 0,19, menunjukkan bahwa cukup rentan terjadi longsor, sesuai dengan pernyataan Shaw & Johnson (1995) dalam Putra (2014), pada lereng dengan bentuk cekung lebih banyak terjadi peristiwa longsor. Lereng yang cekung (seperti lembah) cenderung membentuk air tanah menggantung dan mengumpulkan air tanah, air permukaan, sedimen, dan material bahan organik. Pada bagian ini, daya dukung seperti gravitasi, tekanan pori-pori tanah, dan berat tanah (termasuk air dan tanaman) dapat menimbulkan pergerakan massa.

#### 4.2.4 Litologi

Faktor litologi dengan sifat batuan tertentu dapat memicu kejadian tanah longsor, berdasarkan hasil interpretasi formasi batuan pada Sub DAS Jenelata terdapat enam jenis batuan. Beberapa jenis formasi batuan pada Sub DAS Jenelata, yaitu Endapan Aluvium (Qac), Formasi Camba (Tmc), Anggota Breksi (Ql**vb**), Batuan Gunung Api Baturape (Tpbv), Endapan Sumbat (Tpb**c**) dan Anggota Lava (Tpb**l**). Jenis batuan yang dominan pada Sub DAS Jenelata yaitu batuan gunung api baturape (Tpbv), jenis batuan ini terdiri dari lava, breksi, tufa, konglomerat tersebar

sepanjang perbukitan Gunung Maja. Struktur geologi yang berkembang pada daerah ini berupa sesar turun. Perkembangan struktur geologi mengakibatkan terbentuknya zona rekah yang menyebabkan keluarnya air sehingga terdapat mata air (Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Mineral, 2016 dalam Massinai, dkk., 2019).

Tabel 5. Nilai *Fuzzy Membership* pada Litologi

PARAMETER	KELAS	FUZZY MEMBERSHIP
Litologi	Qac	0,00
	Tmc	0,12
	Qlvb	0,03
	Tpbv	0,31
	Tpbc	0,20
	Tpbl	0,00

Sumber: data Peta Geologi Skala 1 : 250.000

Berdasarkan tabel tersebut menunjukkan nilai *fuzzy membership* dengan jenis batuan gunung api baturape (Tpbv) memiliki nilai probabilitas tanah longsor yang paling tinggi pada parameter ini. Selaras dengan pernyataan Arsyad, dkk. (2018) bahwa salah satu faktor penyebab tanah longsor adalah batuan yang kurang kuat umumnya batuan gunung api dan batuan sedimen berukuran pasir dan campuran pasir, kerikil, dan liat yang kurang kuat. Selain itu, endapan vulkanik memiliki karakteristik mudah lapuk terutama tufa yang lapuk tinggi sampai lapuk sempurna, sehingga pada saat musim hujan air akan meresap ke dalam batuan dan menyebabkan massa batuan bertambah berat, hal ini menjadi peluang terjadi tanah longsor.

Hasil penelitian Gemilang, dkk. (2017) menyatakan bahwa daerah terjadinya longsor didominasi oleh litologi yang tersusun atas pelapukan batuan breksi tuf, yang mengandung fragmen berukuran boulder karena matrik telah mengalami proses pelapukan sehingga fragmen tersebut terlihat seperti bagian material lepas dan memicu terjadinya longsor akibat ketidakstabilan tersebut berukuran boulder karena matrik telah mengalami proses pelapukan sehingga fragmen tersebut terlihat seperti bagian material lepas dan memicu terjadinya longsor.

#### 4.2.5 Curah Hujan

Faktor pemicu terjadinya tanah longsor yang perlu diperhatikan yaitu curah hujan. Curah hujan berpengaruh terhadap stabilitas lereng, hal ini terjadi melalui penurunan kuat geser tanah serta penambahan beban lereng. Pada tabel 6, dapat dilihat curah hujan di Sub DAS Jenelata dari beberapa stasiun, yaitu pos hujan Malonro Kecamatan Bungaya, pos hujan Paranglompoa Kecamatan Bontolempangan dan pos hujan Bbi Horti Kecamatan Bontomarannu dengan tingkat curah hujan yang terjadi cukup tinggi yaitu 3553 mm. Nilai diperoleh dan dirata-ratakan berdasarkan data curah hujan selama 5 tahun

Tabel 6. Nilai *Fuzzy Membership* pada Curah Hujan

PARAMETER	KELAS	FUZZY MEMBERSHIP
Curah Hujan	< 2629 mm	0,04
	2629-2860 mm	0,03
	2860-3091 mm	0,06
	3091-3322 mm	0,20
	3322-3553 mm	0,22

Sumber: data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Sul-Sel

Setiap stasiun memiliki intensitas curah hujan yang berbeda, dari tabel diatas dapat diketahui bahwa curah hujan dengan kelas 3322-3553 mm memperoleh nilai tertinggi pada parameter ini yaitu sebesar 0,22 diikuti kelas 3091-3322 mm dengan nilai 0,20, selebihnya pada kelas yang lain hanya memiliki nilai dibawah dari dua kelas tersebut. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hidayat (2018), dimana air hujan menjadi penyebab peningkatan massa tanah serta melemahkan ikatan partikel tanah sehingga dapat memicu terjadinya longsor. Intensitas curah hujan juga dapat mempengaruhi stabilitas lereng.

#### 4.2.6 Ketinggian

Terjadinya longsor pada umumnya disebabkan oleh tanah miring dengan ketinggian dan kemiringan tertentu. Fanani, dkk. (2018), mengemukakan bahwa adanya hubungan antara angka keamanan dan ketinggian lereng, dimana semakin tinggi ketinggian lereng akan menunjukkan semakin kecil tingkat angka keamanan. Angka keamanan yang dimaksud berupa penilaian yang signifikan terhadap besarnya ketinggian lereng. Penentuan ketinggian lereng terbagi atas 7 kelas yaitu,

<200 m, 200-400 m, 400-600 m, 600-800 m, 800-1000 m, 1000-1200 m, dan >1200 m. Adapun nilai *fuzzy membership* yang didapatkan dari faktor ini dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Nilai *Fuzzy Membership* pada Ketinggian

PARAMETER	KELAS	FUZZY MEMBERSHIP
Ketinggian	<200 m	0,15
	200-400 m	0,08
	400-600 m	0,20
	600-800 m	0,21
	800-1000 m	0,15
	1000-1200 m	0,29
	>1200 m	0,00

Sumber: data DEMNAS

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, diketahui bahwa pada ketinggian 200-400 m dan > 1200 m diperoleh nilai < 0,1, selebihnya pada kelas yang lain diperoleh nilai  $\geq 0,15$  dengan nilai tertinggi yaitu 0,29 pada ketinggian 1000-1200 m. Dapat dilihat dari nilai yang cukup beragam, menunjukkan bahwa adanya faktor pendukung lainnya yang menyebabkan rawan terjadi tanah longsor pada ketinggian tertentu. Hal ini sesuai dengan pernyataan Tazik, dkk (2014), bahwa ketinggian memiliki hubungan secara langsung dengan curah hujan, suhu, jumlah air yang ditampung, vegetasi dan evapotranspirasi.

#### 4.2.7 Jarak Patahan

Faktor jarak patahan dapat berperan sebagai penyebab gerakan tanah. Hal ini selaras dengan pernyataan Putra, dkk. (2015), bahwa umumnya di dekat patahan atau sesar banyak terjadi longsor dikarenakan pengaruh dari jarak patahan. Pada analisis ini, terbagi beberapa kelas untuk jarak patahan, yaitu 0-500 m, 500-1000 m, 1000-1500 m, 1500-2000 m, dan > 2000 m.

Tabel 8. Nilai *Fuzzy Membership* pada Jarak Patahan

PARAMETER	KELAS	FUZZY MEMBERSHIP
Jarak Patahan	0-500 m	0,26
	500-1000 m	0,19
	1000-1500 m	0,17
	1500-2000 m	0,18
	>2000 m	0,15

Sumber: data Peta Geologi Skala 1 : 250.000

Menurut Shahabi, dkk. (2014), sebagian besar terjadinya longsor berada pada kelas 0-1000 m, jarak patahan memiliki pengaruh terhadap struktur material pada permukaan serta berkontribusi juga pada permeabilitas suatu daerah (medan) yang menyebabkan ketidakstabilan lereng. Hal ini sesuai dengan analisis yang dilakukan, dapat dilihat pada tabel 8 bahwa pada jarak 0-500 m memiliki nilai 0,26 diikuti dengan nilai 0,19 pada jarak 500-1000 m, dan nilai 0,17 pada jarak 1000-1500 m, nilai 0,18 pada jarak 1500-2000 m serta nilai yang paling rendah yaitu 0,15 pada jarak >2000 m. Dari hasil yang ditunjukkan pada tabel tersebut dapat digambarkan bahwa, terjadinya tanah longsor pada Sub DAS Jenelata akan meningkat apabila semakin dekat dengan kelurusan geologi (*lineaments*).

#### 4.2.8 Jarak dari Sungai

Salah satu faktor yang menjadi penyebab terjadinya tanah longsor yaitu jarak dari sungai. Berdasarkan hasil analisis faktor ini terbagi dalam beberapa kelas, yaitu 0-100 m, 100-200 m, 200-300 m, 300-400 m, dan >400 m. Adapun nilai *fuzzy membership* pada Sub DAS Jenelata yang telah dianalisis, dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 9. Nilai *Fuzzy Membership* pada Jarak Dari Sungai

PARAMETER	KELAS	FUZZY MEMBERSHIP
Jarak Sungai	0-100 m	0,13
	100-200 m	0,21
	200-300 m	0,32
	300-400 m	0,31
	>400 m	0,19

Sumber: Data Peta RBI Skala 1 : 50.000

Untuk jarak 0-100 m dan > 400 m memiliki nilai yang rendah, sedangkan 100-200 m, 200-300 m, dan 300-400 m, memiliki nilai rata-rata  $\geq 0,21$ . Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa semakin dekatnya jarak dari sungai lebih kecil pengaruhnya dibandingkan dengan jarak yang cukup jauh dari sungai. Hal ini tentu saja berbanding terbalik dengan hasil penelitian Mohan, dkk. (2011), bahwa mayoritas longsor terjadi dekat dengan aliran sungai dengan jarak 150 m dan diluar dari 200 m tidak ada longsor yang terjadi sehingga jarak dari sungai dapat menjadi acuan untuk zonasi bahaya longsor. Berdasarkan hasil keadaan di lapangan bahwa beberapa longsor terjadi di dekat sungai, namun longsor juga terjadi lebih banyak pada jarak yang jauh dari sungai. Pengaruh dari kejadian tersebut disebabkan oleh aktivitas manusia seperti penggunaan lahan, dimana hal ini juga berhubungan dengan mata pencaharian masyarakat Sub DAS Jenelata yaitu bertani. Didukung dengan pernyataan Nafi & Rizky (2017), bahwa dengan adanya tebing curam dan diatasnya terdapat sawah yang dipenuhi air membuat daya hidrostatika semakin kuat menekan permukaan tanah sehingga rentan untuk tergeser dan mengakibatkan terjadinya longsor.

#### 4.2.9 Jarak dari Jalan

Salah satu faktor yang dianggap berpeluang menyebabkan terjadinya longsor adalah jarak dari jalan, dimana pada parameter ini banyak aktivitas yang terjadi sehingga mempengaruhi kestabilan tanah. Berdasarkan data peta RBI, yang diperbaharui juga dengan *Google Earth Pro* pada Sub DAS Jenelata terdapat 6 kelas jarak dari jalan. Adapun beberapa kelas jarak dari jalan, yaitu 0-100 m, 100-200 m, 200-300 m, 300-400 m, 400-500 m, dan > 500 m.

Tabel 10. Nilai *Fuzzy Membership* pada Jarak Dari Jalan

PARAMETER	KELAS	FUZZY MEMBERSHIP
Jarak dari Jalan	0-100 m	0,07
	100-200 m	0,13
	200-300 m	0,15
	300-400 m	0,15
	400-500 m	0,15
	>500 m	0,27

Sumber: data Peta RBI Skala 1 : 50.000 dan Citra *Time Series Google Earth Pro*

Berdasarkan tabel diatas menunjukkan nilai *fuzzy membership* dengan kelas > 500 m memiliki nilai yang paling tinggi pada parameter ini sebesar 0,27 sedangkan pada kelas 0-100 m memiliki nilai paling rendah sebesar 0,07. Hal ini berbeda dengan pernyataan Hutomo & Maryono (2016), bahwa semakin besar jarak suatu wilayah dari jaringan jalan dan jaringan drainase maka wilayah tersebut semakin aman dari kejadian tanah longsor. Hasil dari *ground check* di lapangan menunjukkan kemiringan lereng yang beragam baik dekat dari jalan maupun jarak yang jauh dari jalan. Pada analisis ini, kelerengan menjadi salah satu faktor pendukung yang kuat, selain itu penyebab rendahnya pengaruh jarak dari jalan adalah vegetasi yang tumbuh di sekitar jalan. Vegetasi-vegetasi tersebut berfungsi sebagai tanaman penghambat, dimana melalui akar-akarnya dapat membantu menstabilkan lereng di wilayah Sub DAS Jenelata.

### **4.3 Analisis Tingkat Kerawanan Longsor**

Analisis dilakukan untuk menggambarkan hubungan spasial antara kejadian longsor dan faktor yang mempengaruhi, dengan pendekatan model *frequency ratio* dan *fuzzy logic*. Nilai probabilitas didapatkan dari *fuzzy membership* yang diturunkan oleh nilai *frequency ratio*. Setiap parameter yang ada dinormalisasi dengan inputan minimum dan maksimum. Untuk menganalisis serta menghitung nilai kerawanan longsor, *cell size* pada parameter tersebut diubah menjadi 10 x 10 m. Pada Sub DAS Jenelata memiliki jumlah total piksel sebesar 2.268.080 dan jumlah piksel kejadian longsor sebesar 113.861.

Hasil dari perhitungan berdasarkan metode *fuzzy logic* menunjukkan nilai minimum dan maksimum yaitu 0-1, dimana semakin mendekati nilai 0 artinya tingkat kerawanan yang dihasilkan semakin rendah begitu pun sebaliknya. Parameter yang memiliki nilai minimum ialah Kelengkungan bumi (datar), Litologi (Qac dan Tpbl) dan Ketinggian (>1200 m), hal ini menunjukkan kecilnya pengaruh terhadap kejadian longsor dan nilai maksimum diperoleh pada parameter Kemiringan lereng dengan kelas >45 %, hal ini menunjukkan parameter tersebut memiliki pengaruh yang besar dengan tingkat kerawanan yang tinggi terhadap kejadian longsor di wilayah ini. Dari nilai yang diperoleh tersebut dapat diketahui faktor yang berpengaruh terhadap tanah longsor.

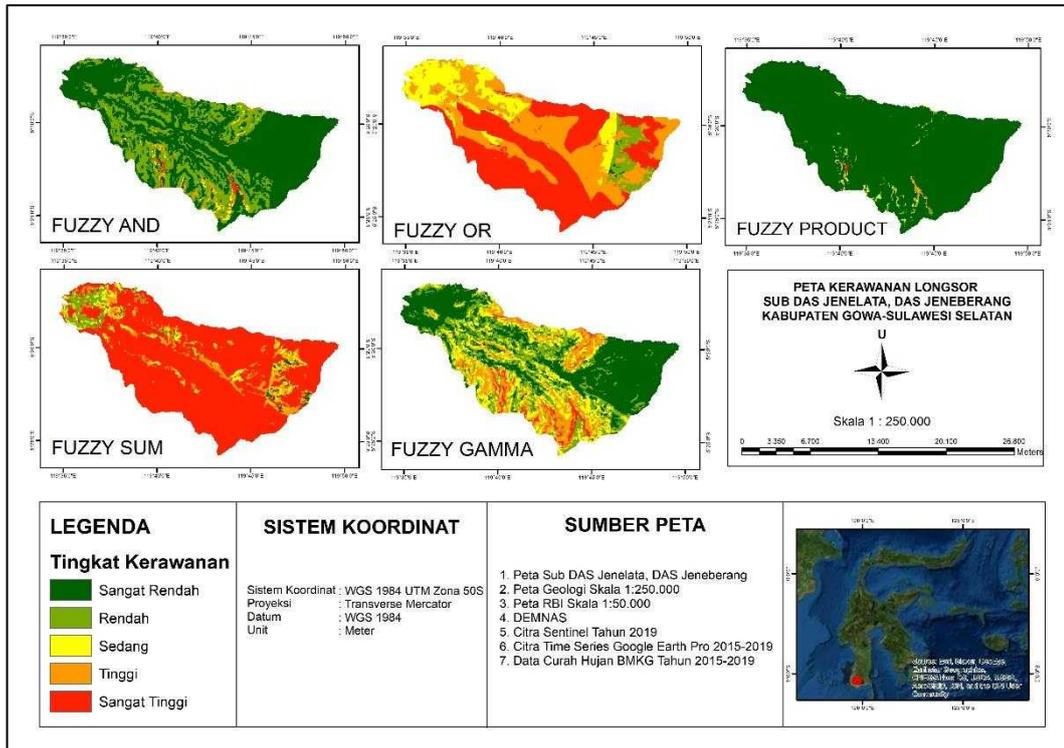
#### 4.4 Indeks Kerawanan Tanah Longsor

Upaya yang dilakukan untuk menganalisis, menentukan batasan serta kombinasi dari berbagai parameter ialah dengan mengkategorikan tingkat kerawanan longsor menggunakan *fuzzy overlay*, dimana pada *tools* ini terbagi atas 5 buah operator *fuzzy* yaitu *And*, *Or*, *Sum*, *Product* dan *Gamma*. Setiap operator memiliki nilai interval (keluaran) yang berbeda, pada *fuzzy And* dan *Or* menghasilkan keluaran dari salah satu *input values* (*single evidence*) sedangkan pada *fuzzy Sum* dan *Product* menghasilkan keluaran semua *input values* (Adzan & Danoedoro, 2012), serta operator *fuzzy Gamma* menghasilkan output antara perkalian dan penjumlahan aljabar *fuzzy* yaitu rentang antara 0 dan 1 (Anbalagan, dkk., 2015) sehingga dapat dibandingkan pemodelan dari masing-masing operator *fuzzy*. Untuk operator *fuzzy Product* dan *fuzzy And* menghasilkan *fuzzy membership* dengan tingkat kerawanan yang rendah, nilai interval yang didapat yaitu 0 – 0,3 dan 0 – 0,5. Berbeda dengan operator *fuzzy Or* dan *fuzzy Sum*, dimana hasil interval yang didapat ialah dengan nilai 0,8 – 0,9 dan 0,9 - 1. Artinya, dua operator *fuzzy* tersebut cenderung memiliki tingkat kerawanan yang tinggi karena mendekati 1. Sebaliknya, pada operator *fuzzy Gamma* menghasilkan rentang nilai yang variatif yaitu 0 – 0,9 dapat diartikan bahwa tingkat kerawanan pada operator ini rendah cenderung mendekati tinggi. Hal ini didukung dengan bentuk pengklasifikasian oleh Adzan & Danoedoro (2012) yang mengemukakan bahwa 0,5 merupakan batas nilai tengah derajat keanggotaan *fuzzy* (*fuzzy membership*). Adapun hasil analisis berdasarkan operator *fuzzy* berupa nilai indeks dan peta kerawanan yang dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut ini.

Tabel 11. Nilai Indeks Kerawanan pada Setiap Operator Fuzzy

Operator Fuzzy	Nilai Indeks Kerawanan	Kelas Kerawanan
Fuzzy And	0 - 0,5	Relatif Rendah - Sedang
Fuzzy OR	0,8 - 0,9	Relatif Tinggi
Fuzzy Sum	0,9 - 1	Relatif Tinggi
Fuzzy Product	0 - 0,3	Relatif Rendah
Fuzzy Gamma	0 - 0,9	Relatif Rendah - Tinggi

Sumber: Hasil analisis SIG



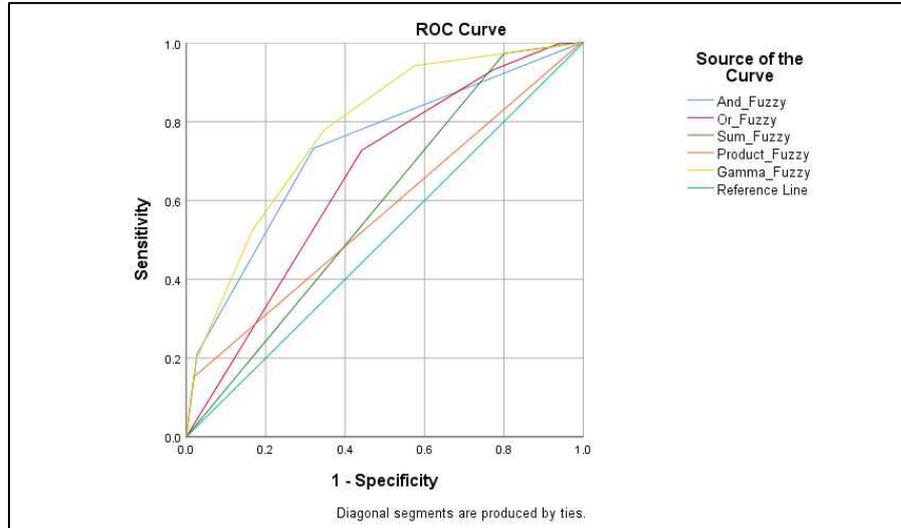
Gambar 6. Peta Kerawanan Tanah Longsor

Kategori kerawanan tanah longsor pada Sub DAS Jenelata terbagi atas 5 kelas yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Beberapa kelas tersebut didapatkan berdasarkan pengklasifikasian menggunakan model *natural break (Jenks)*, dimana pada model ini menentukan titik pada data berdasarkan pengelompokan dan pola data. Berdasarkan gambar 6, terlihat perbedaan sebaran daerah rawan longsor pada hasil *fuzzy overlay*. Namun perlu diperhatikan bahwa hasil *overlay* terbaik ditunjukkan oleh model dari *operator fuzzy Gamma*, peta kerawanan pada model ini menunjukkan yang paling sesuai dengan pemodelan spasial dimana menggambarkan semua variabel input dalam menentukan kerawanan longsor.

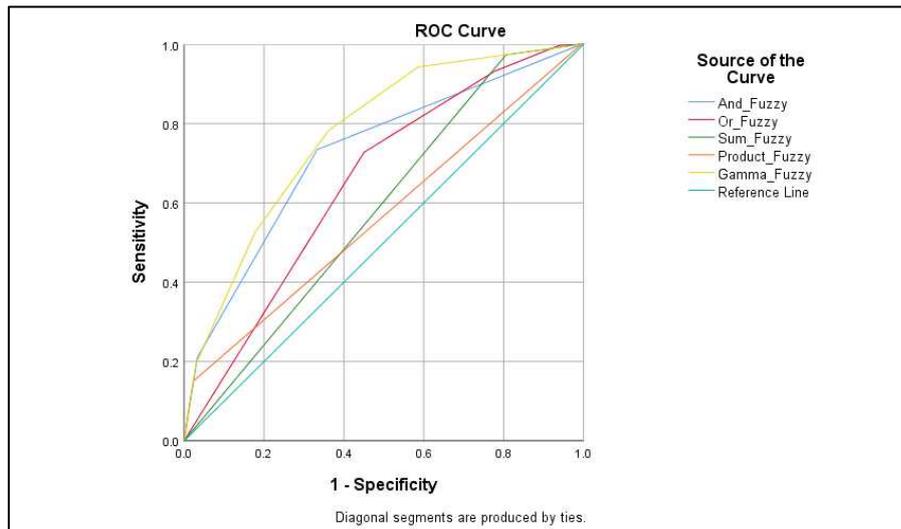
#### 4.5 Validasi

Hasil analisis kerawanan tanah longsor divalidasi dengan menggunakan analisis *Receiver Operating Characteristic (ROC)*, untuk mengevaluasi kemampuan prediksi model. Nilai *Area Under Curve (AUC)* dihasilkan dari ROC, dimana AUC dapat menghitung akurasi model secara kuantitatif dengan menghasilkan nilai akurasi prediksi. Adapun data yang digunakan pada analisis ini

yaitu 520 lokasi longsor (80%) untuk tingkat kesuksesan nilai model dan 130 lokasi longsor (20%) untuk tingkat prediksi model dengan pemilihan acak (*sampling*) menggunakan *software SPSS*.



Gambar 7. Kurva uji akurasi tingkat kesuksesan *Fuzzy Membership*



Gambar 8. Kurva uji akurasi tingkat prediksi *Fuzzy Membership*

Tabel 12. Nilai AUC dari Hasil Analisis ROC untuk Tingkat Sukses (Validasi 1) *Fuzzy Membership* terhadap kejadian Longsor (Gambar 7)

Operator	Fuzzy Logic
Fuzzy And	0,732
Fuzzy Or	0,658
Fuzzy Sum	0.588
Fuzzy Product	0,571
Fuzzy Gamma (0,9)	0,781

Sumber: Hasil analisis SIG dan SPSS

Tabel 13. Nilai AUC dari Hasil Analisis ROC untuk Tingkat Prediksi (Validasi 2) *Fuzzy Membership* terhadap kejadian Longsor (Gambar 8)

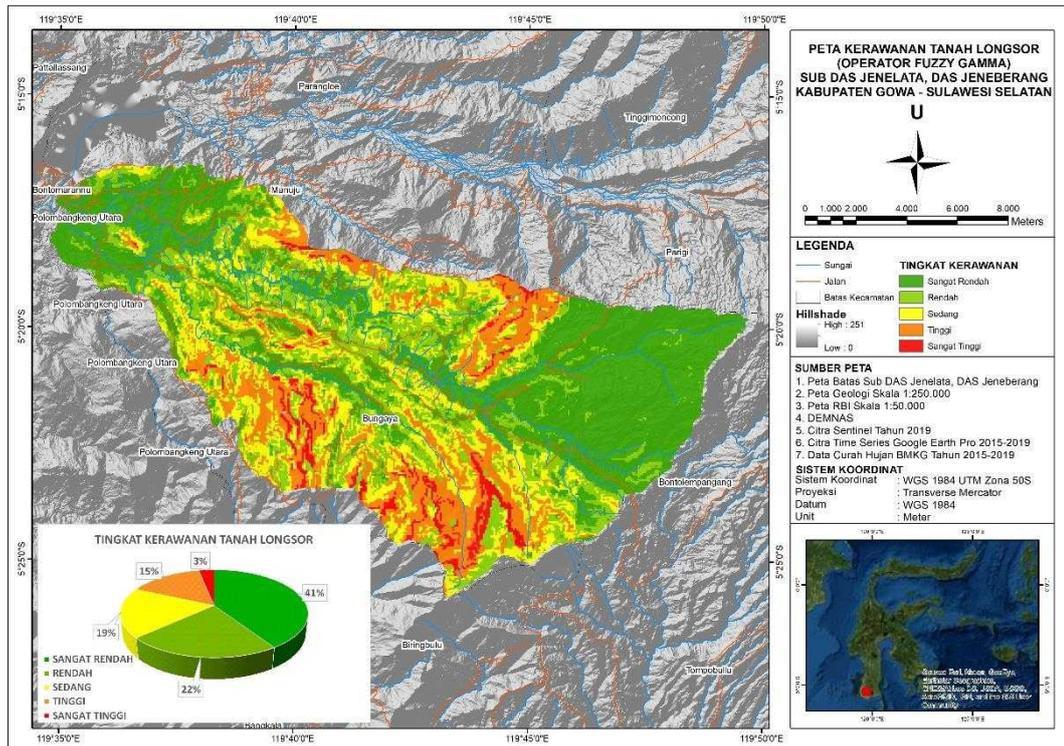
Operator	Fuzzy Logic
Fuzzy And	0,728
Fuzzy Or	0,655
Fuzzy Sum	0,587
Fuzzy Product	0,570
Fuzzy Gamma (0,9)	0,775

Sumber: Hasil analisis SIG dan SPSS

Berdasarkan data hasil validasi pada kurva dan tabel tersebut, dapat diketahui tingkat kesuksesan nilai model (validasi 1) serta tingkat prediksi model (validasi 2), dari masing-masing operator *fuzzy* yaitu pada operator *fuzzy Product* memiliki nilai terendah yaitu 0,571 dan 0, 570, diikuti *fuzzy Sum* dengan nilai 0,588 dan 0,587. Kemudian pada operator *fuzzy Or* memiliki nilai akurasi yang dihasilkan sebesar 0,658 dan 0,655, pada operator *fuzzy And* memiliki nilai 0,732 dan 0,728 serta nilai uji akurasi yang paling baik dari masing-masing operator yaitu *fuzzy Gamma* berkisar 0,781 dan 0,775. Dari nilai tersebut, berdasarkan acuan klasifikasi menunjukkan model cukup dengan rentan 0,7 - 0,8. Hal ini selaras dengan pernyataan Abul Hasanat, dkk. (2010) dalam Gholami, dkk. (2019), bahwa model yang memiliki nilai *Area Under Curve* (AUC) yang tinggi dianggap memiliki kinerja yang baik dengan klasifikasi sebagai berikut; 0,9 – 1 (luar biasa), 0,8 - 0,9 (baik), 0,7 – 0,8 (cukup), 0,6 – 0,7 (buruk) dan 0,5 – 0,6 (gagal).

#### 4.6 Operator *Fuzzy Gamma*

Pendekatan *fuzzy logic* cukup efektif dalam memetakan kerawanan longsor di Sub DAS Jenelata, berdasarkan hasil analisis *fuzzy overlay* dan uji akurasi menunjukkan baiknya operator *fuzzy Gamma* jika dibandingkan dengan operator lainnya. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Pradhan (2010), yang menyatakan bahwa operasi *gamma* yang telah diuji menghasilkan peta kerawanan serta akurasi terbaik. Selain itu, terdapat pula tingkat kerawanan tanah longsor dari operator *fuzzy Gamma* yang dapat dilihat pada gambar 9 dan tabel 14, sebagai berikut;



Gambar 9. Peta Kerawanan Tanah Longsor Berdasarkan Operator *Fuzzy Gamma*

Tabel 14. Tingkat Kerawanan Tanah Longsor Operator *Fuzzy Gamma*

Kelas	Nilai Indeks Kerawanan	Kelas Kerawanan Longsor	Jumlah Pikel	Persentase
1	0 - 0,1	Sangat Rendah	919399	40,75
2	0,1 - 0,2	Rendah	507095	22,48
3	0,2 - 0,3	Sedang	418834	18,56
4	0,3 - 0,6	Tinggi	340233	15,08
5	0,6 - 0,9	Sangat Tinggi	70486	3,12

Sumber: Hasil analisis SIG

Berdasarkan gambar serta tabel tersebut, menunjukkan persentase kelas kerawanan di Sub DAS Jenelata dimana nilai tertinggi diperoleh dari kelas sangat rendah sebesar 41% (9.193 ha), diikuti kelas kerawanan rendah sebesar 22% (5.070 ha), kelas kerawanan sedang sebesar 19% (4.188 ha), kelas kerawanan tinggi sebesar 15% (3.402 ha) dan kelas kerawanan sangat tinggi sebesar 3 % (704 ha). Dari hasil tersebut menggambarkan tingkat kerawanan di wilayah ini cenderung berada di kelas sangat rendah, hal ini juga didukung dengan data BNPB yang tercatat pada 5 tahun terakhir di Sulawesi Selatan, bahwa kejadian longsor yang terjadi lebih sedikit jika dibandingkan dengan provinsi lainnya. Namun tidak menutup kemungkinan di daerah Sub DAS Jenelata memiliki potensi terjadinya longsor didukung dengan faktor yang mempengaruhi. Adapun parameter yang

berpengaruh pada kerawanan tanah longsor berdasarkan operator *fuzzy Gamma*, dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 15. Parameter yang Mendominasi pada Kerawanan Tanah Longsor Berdasarkan *Fuzzy Gamma*

PARAMETER	KELAS KERAWANAN				
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Tutupan Lahan	Hutan Lahan Kering Sekunder				
Kelengkungan bumi	Cembung			Cekung	
Litologi	Qlvb	Tmc	Tpbv		
Jarak Jalan	0-100 m	>500 m			
Curah Hujan	3091-3322 mm		3322-3553 mm	3091-3322 mm	
Kemiringan Lereng	15-25%		25-45%		>45%
Ketinggian	200-400 m	<200 m	400-600 m		1000-1200 m
Jarak Patahan	>2000 m				
Jarak Sungai	0-100 m			100-200 m	

Sumber: Hasil analisis SIG

Berdasarkan tabel 15 menunjukkan bahwa terdapat 9 parameter yang mendominasi pada tingkat kerawanan tanah longsor di Sub DAS Jenelata. Pada kelas rawan longsor sangat rendah dicirikan dengan penutupan lahan berupa hutan lahan kering sekunder, kemiringan lereng 15-25% dengan bentuk permukaan bumi cembung (*convex*), jenis batuan berupa batuan Qlvb (anggota breksi/halang), jarak jalan 0-100 m, curah hujan 3091-3322 mm, ketinggian 200-400 m, jarak patahan >2000 m, dan jarak sungai 0-100 m, sedangkan pada kelas rawan longsor dicirikan dengan penutupan lahan berupa hutan lahan kering sekunder kemiringan lereng 15-25% dengan bentuk permukaan bumi cembung (*convex*), jenis batuan berupa Tmc (camba), jarak jalan >500 m, curah hujan 3091-3322 mm, ketinggian <200 m, jarak patahan >2000 m, dan jarak sungai 0-100 m,

Sementara itu, pada kelas rawan longsor sedang dicirikan dengan penutupan lahan berupa hutan lahan kering sekunder, kemiringan lereng 25-45% dengan bentuk permukaan bumi cembung (*convex*), jenis batuan berupa Tpbv (Batuan gunung api baturape), jarak jalan >500 m, curah hujan 3322-3553 mm, ketinggian 400-600 m, jarak patahan >2000 m, dan jarak sungai 0-100 m. Pada kelas rawan longsor tinggi dicirikan dengan penutupan lahan berupa hutan lahan kering sekunder, kemiringan lereng 25-45% dengan bentuk permukaan bumi cembung (*convex*), jenis batuan berupa Tpbv (Batuan gunung api baturape), jarak jalan >500

m, curah hujan 3091-3322 mm, ketinggian 400-600 m, jarak patahan >2000 m, dan jarak sungai 0-100 m. Sedangkan, pada kelas rawan longsor sangat tinggi dicirikan dengan penutupan lahan berupa hutan lahan kering sekunder, kemiringan lereng >45% dengan bentuk permukaan bumi cekung (*concave*), jenis batuan berupa Tpbv (Batuan gunung api baturape), jarak jalan >500 m, curah hujan 3091-3322 mm, ketinggian 1000-1200 m, jarak patahan >2000 m, dan jarak sungai 100-200 m. Adapun beberapa parameter yang memiliki kesamaan dari setiap kelas kerawanan antara lain tutupan lahan dan jarak patahan. Kedua parameter ini, memiliki pengaruh di setiap kelas kerawanan tanah longsor, dimana pada parameter tutupan lahan dengan kelas hutan lahan kering sekunder dan parameter jarak patahan dengan kelas > 2000 m.

Kejadian longsor yang terjadi berdasarkan beberapa parameter tersebut dapat dikategorikan sebagai longsor dangkal (*Shallow landslide*). Hal ini disebabkan oleh curah hujan sebagai pemicu, didukung dengan kemiringan lereng dan litologi yang mempengaruhi serta faktor pendukung lainnya. Sejalan dengan Rosli (2012), bahwa longsor dangkal terjadi sangat aktif dan tersebar luas terutama pada musim hujan dengan kelembapan tanah yang jenuh atau hampir jenuh. Longsor dangkal disebabkan karena curah hujan dan limpasan, kedalaman tanah, penggunaan lahan dan karakteristik topografi. Secara umum longsor ini terjadi pada kedalaman 1-2 meter dan batuan yang sangat lapuk.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Parameter yang paling berpengaruh dengan menggunakan metode *fuzzy logic* adalah kemiringan lereng dengan kelas  $>45\%$ , dimana pada kelas ini memperoleh nilai probabilitas paling tinggi sebesar 1 sebagai fungsi *fuzzy membership*. Dengan nilai tersebut, menunjukkan kelereng memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap tanah longsor.
2. Peta kerawanan tanah longsor berdasarkan 5 operator *fuzzy* (*And*, *Or*, *Sum*, *Product* dan *Gamma*) di Sub DAS Jenelata memiliki tingkat kerawanan yang beragam. *Overlay* terbaik dan akurasi yang cukup ditunjukkan dari model operator *fuzzy Gamma* (0,9) dimana hasil peta kerawanan menunjukkan yang paling sesuai dengan pemodelan spasial, diikuti nilai AUC yang didapatkan dari analisis ROC dengan tingkat kesuksesan model sebesar 0,781 dan tingkat prediksi model sebesar 0,775. Operator *fuzzy Gamma* memiliki persentase kerawanan sangat rendah sebesar 41% (9.193 ha), rendah 22% (5.070 ha), sedang 19% (4.188 ha), tinggi 15% (3.402 ha), dan sangat tinggi 3% (704 ha).

### 5.2 Saran

Untuk menganalisis kerawanan longsor menggunakan data raster, diperlukan tempat penyimpanan yang cukup besar dibandingkan dengan data vektor sehingga kesulitan yang dialami peneliti ialah alat yang digunakan memiliki spesifikasi yang kurang sebagai tempat penyimpanan data. Kemudian beberapa data sekunder yang digunakan belum *update* sehingga sedikit mempengaruhi dalam menganalisa. Oleh karena itu, diharapkan kedepannya dalam melakukan penelitian analisis kerawanan longsor dengan menggunakan data raster perlu alat yang memadai dan didukung dengan data sekunder terbaru agar lebih baik dalam menganalisis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, F. 2010. *Studi Identifikasi Penyebab Longsor di Botu*. Universitas Negeri Gorontalo.
- Adnyana, I. W. S. & As-syakur, A. R. 2012. Aplikasi Sistem Informasi Geografi Berbasis Data Raster Untuk Pengkelasan Kemampuan Lahan Di Provinsi Bali Dengan Metode Nilai Piksel Pembada (Application of Geographic Information System (GIS) Based Raster Data to Classify Land Capability in Bali). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 19(1), 21–29.
- Adsah, N. A. 2015. *Dukungan Daerah Aliran Sungai (DAS) Jenelata Dalam Pengembangan Wilayah Berbasis Sektor Unggulan di Kecamatan Manuju Kabupaten Gowa*. UIN Alauddin Makassar.
- Adzan, G. & Danoedoro, P. 2012. Penggunaan Logika Fuzzy Dalam Pemodelan Spasial Kerentanan Dbd Di Kota Yogyakarta. *Jurnal Bumi*, 1(January), 59–70.
- Akhsar. 2014. Penentuan Tingkat Kerawanan Longsor Menggunakan Metode Fuzzy Logic. *TECHSI: Jurnal Penelitian Teknik Informatika*.
- Anbalagan, R., Kumar, R., Lakshmanan, K., Parida, S. & Neethu, S. 2015. Landslide Hazard Zonation Mapping Using Frequency Ratio and Fuzzy Logic Approach, A Case Study of Lachung Valley, Sikkim. *Geoenvironmental Disasters*, 2.
- Aqli, W. 2010. Analisa Buffer Dalam Sistem Informasi Geografis Untuk Perencanaan Ruang Kawasan. *INERSIA*, 6(2), 192–201.
- Arsyad, U., Barkey, R., Wahyuni & Matandung, K. K. 2018. Karakteristik Tanah Longsor di Daerah Aliran Sungai Tangka. *Jurnal Hutan Dan Masyarakat*, 10(1), 203–214.
- Asdak, C. 2010. *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press.
- Barus, B. 1999. Pemetaan Bahaya Longsoran Berdasarkan Klasifikasi Statistik Peubah Tunggal Menggunakan SIG: Studi Kasus Daerah Ciawi-Puncak-Pacet, Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Tanah & Lingkungan*, 2(1), 7–16.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana 2020. *Data dan Informasi Bencana Indonesia*. <http://bnpb.go.id/dibi>
- 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).
- Ercanoglu, M. & Gokceoglu, C. 2004. Use of Fuzzy Relations to Produce Landslide Susceptibility Map of A Landslide Prone Area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, 75(3–4), 229–250.

- Fadilah, N., Arsyad, U. & Soma, A. S. 2019. Analisis Tingkat Kerawanan Tanah Longsor Menggunakan Metode Frekuensi Rasio di Daerah Aliran Sungai Bialo. *Jurnal Perennial*, 15(1), 42–50.
- Fanani, F. C., Surendro, B. & Amin, M. 2018. Pengaruh Ketinggian Lereng Terhadap Gaya Longsor Pada Tanah Homogen. *World of Civil and Environmental Engineering*, 1, 1–8.
- Gemilang, W. A., Husrin, S. & Wisna, U. J. 2017. Kerentanan Pesisir Terhadap Bencana Tanah Longsor Di Bungus, Sumatera Barat dan Sekitarnya Menggunakan Metode Storie. *Jurnal Geosaintek*, 3(1), 37–44.
- Gholami, M., Ghachkanlu, E. N. & Khosravi, K. 2019. Landslide prediction capability by comparison of frequency ratio , fuzzy gamma and landslide index method. *Journal of Earth System Science*, 128(2), 1–22.
- Gistut. 1994. *Sistem Informasi Geografis*. Gramedia Pustaka Utama.
- Hidayat, R. 2018. Analisis Stabilitas Lereng pada Longsor Desa Caok, Purworejo, Jawa Tengah. *Jurnal Sumber Daya Air*, 14(1), 63–74.
- Hutomo, I. A. & Maryono, M. 2016. Model Prediksi Kawasan Rawan Bencana Tanah Longsor di Kecamatan Karang Kobar. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 12(3), 303.
- Indrasgoro, G. P. 2013. Geographic Information System (GIS) Untuk Deteksi Daerah Rawan Longsor Studi Kasus Di Kelurahan Karang Anyar Gunung Semarang. *Jurnal GIS Deteksi Rawan Longsor*, 1–11.
- Lee, S. & Pradhan, B. 2006. *Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island , Malaysia*. 6, 661–672.
- Lihawa, F. 2017. *Kajian Bidang Longsor di DAS ALO Dengan Metode Geolistrik*. Universitas Negeri Gorontalo.
- Londongsalu, D. T. 2008. *Analisis Pendugaan Erosi, Sedimentasi, dan Aliran Permukaan Menggunakan Model AGNPS Berbasis Sistem Informasi Geografis di Sub DAS Jeneberang Provinsi Sulawesi Selatan*. Institut Pertanian Bogor.
- Massinai, M. A., Bundang, S., Massinai, M. F. I. & Hidayat, W. 2019. Tipologi Sistem Akuifer Endapan Gunungapi. *Jurnal Geomine*, 7(2), 124–132.
- Mohan, V. R., Jeyaseelan, A., Raj, T. N., Narmatha, T. & Jayaprakash, M. 2011. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio method and GIS in south eastern part of Nilgiri District, Tamilnadu, India. *International Journal Of Geomatics And Geosciences*, 1(4), 951–961.
- Nafi, F. & Rizky, D. 2017. Indikasi Potensi Bahaya Longsor Berdasarkan Klasifikasi Lereng dan Litologi Penyusun Lereng, Desa Paningkaban, Kecamatan Lumbir, Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah. *Seminar Nasional Cendekiawan Ke 3*, 79–89.
- Nandi. 2007. Longsor. In *Upi*. <http://file.upi.edu/Direktori>

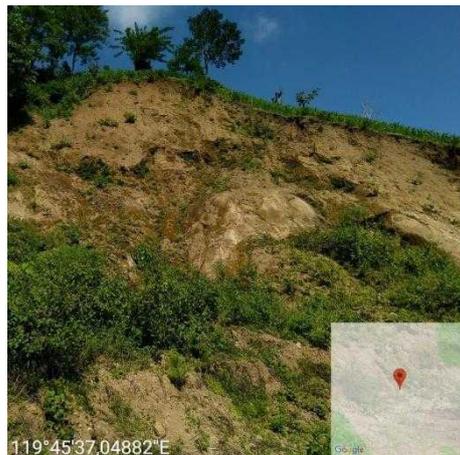
- Nasution, H. 2012. Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kecerdasan Buatan. *Jurnal ELKHA*, 4(2), 4–8.
- Nithya, S. E., Prasanna, P. R. & Eswaramoorthi, S. 2012. Landslide Susceptibility Zonation Using Fuzzy Logic for Kundahpallam Watershed, Nilgris. *European Journal of Scientific Research*, 78, 48–56.
- Nusantara, Y. & Setianto, A. 2015. Pemetaan Bahaya Tanah Longsor Dengan Metode Frequency Ratio di Kecamatan Piyungan dan Pleret, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Seminar Nasional Kebumihan Ke-8*.
- Pourghasemi, H. R., Pradhan, B. & Gokceoglu, C. 2012. *Process ( AHP ) to Landslide Susceptibility Mapping*. 965–996.
- Pradhan, B. 2010. Landslide Susceptibility Mapping of A Catchment Area Using Frequency Ratio, Fuzzy Logic and Multivariate Logistic Regression Approaches. *Jurnal Indian Society Remote Sensing*, 38(June), 301–320.
- Pradhan, B., Dreseden, Lee, S., Daejon, Korea & Buchroithner, M. F. 2010. *Remote Sensing and GIS-based Landslide Susceptibility Analysis and its Cross-validation in Three Test Areas Using a Frequency Ratio Model*. 17–32.
- Pratiwi, L. H. K. 2018. *Pemetaan Kerentanan Tanah Longsor Menggunakan Metode Frequency Ratio di Desa Tlogosono dan Sekitarnya, Kecamatan Gebang, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah*. Universitas Gadjah Mada.
- Priyono, K. D., Priyana, Y. & Priyono. 2006. *Analisis Tingkat Bahaya Longsor Tanah di Kecamatan Banjarnegara Kabupaten Banjarnegara*. 175–189.
- Putra, E. H. 2014. Identifikasi Daerah Rawan Longsor Menggunakan Metode SMORPH-Slope Morphology di Kota Manado. *WASIAN*, 1(No.1), 1–7.
- Putra, Y. A., Ismail, N. & Faisal. 2015. Analisis Penentuan Faktor Penyebab Gerakan Tanah di Kabupaten Aceh Tengah, Provinsi Aceh. *Jurnal Ilmu Kebencanaan (JIKA), Pascasarjana Universitas Syiah Kuala*, 2(2), 96–103.
- Rosli, M. H. Bin. 2012. *Landslide Susceptibility Analysis Using SINMAP In Fraser's Hill, Malaysia*. Universiti Putra Malaysia.
- Saputra, M. A., Rayes, M. L. & Nita, I. 2019. *Pemetaan Prediksi Sebaran Kerentanan Longsor di Kecamatan Tawangmangu, Kabupaten Karanganyar Menggunakan Pendekatan Fuzzy Logic*. 6(2), 1353–1359.
- Shahabi, H., Khezri, S., Bin, B. & Hashim, M. 2014. Landslide Susceptibility Mapping at Central Zab basin, Iran : A Comparison between Analytical Hierarchy Process, Frequency Ratio and Logistic Regression Models. *Catena*, 115, 55–70.
- Sitanala, A. 2010. *Konservasi Tanah & Air* (Edisi Kedua). IPB Press.
- Sobirin, Sitanala, F.T.H.R. & Ramadhan, M. 2017. Analisis Potensi dan Bahaya Bencana Longsor Menggunakan Modifikasi Metode Indeks Storie Di Kabupaten Kebumen Jawa Tengah. *Industrial Research Workshop and*

*National Seminar Politeknik Negeri Bandung*, 59–64.

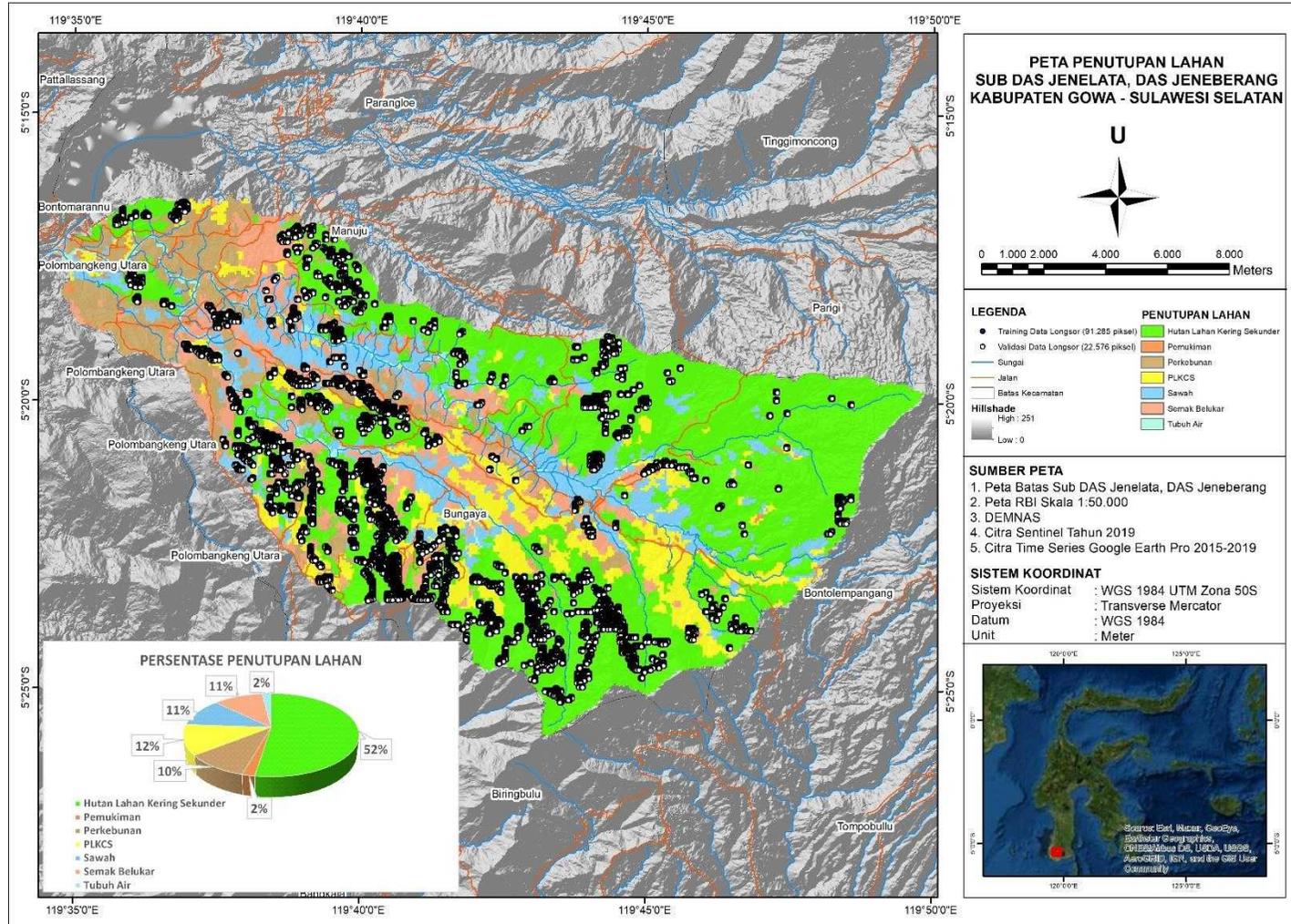
- Soma, Andang S. & Kubota, T. 2017. Land Use Changes on the Slopes and the Implications for the Landslide Occurrences in Ujung-Loe Watersheds South Sulawesi Indonesia. *International Journal of Ecology and Development*, 32(May), 33–42.
- Taufik, M., Kurniawan, A. & Putri, A. R. 2016. Identifikasi Daerah Rawan Tanah Longsor Menggunakan SIG (Sistem Informasi Geografis). *Jurnal Teknik ITS*, 5(2).
- Tazik, E., Jahantab, Z., Bakhtiari, M., Rezaei, A. & Alavipanah, S. K. 2014. Landslide Susceptibility Mapping by Combining The Three Methods Fuzzy Logic, Frequency Ratio and Analytical Hierarchy Process in Dozain Basin. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40, 267–272.
- Wibowo, N. S., Setyohadi, D. P. S. & Rakhmad, H. 2016. Penggunaan Metode Fuzzy Dalam Sistem Informasi Geografis Untuk Pemetaan Daerah Rawan Banjir Di Kabupaten Jember. *Seminar Nasional Hasil Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat*, 20–26.

# LAMPIRAN

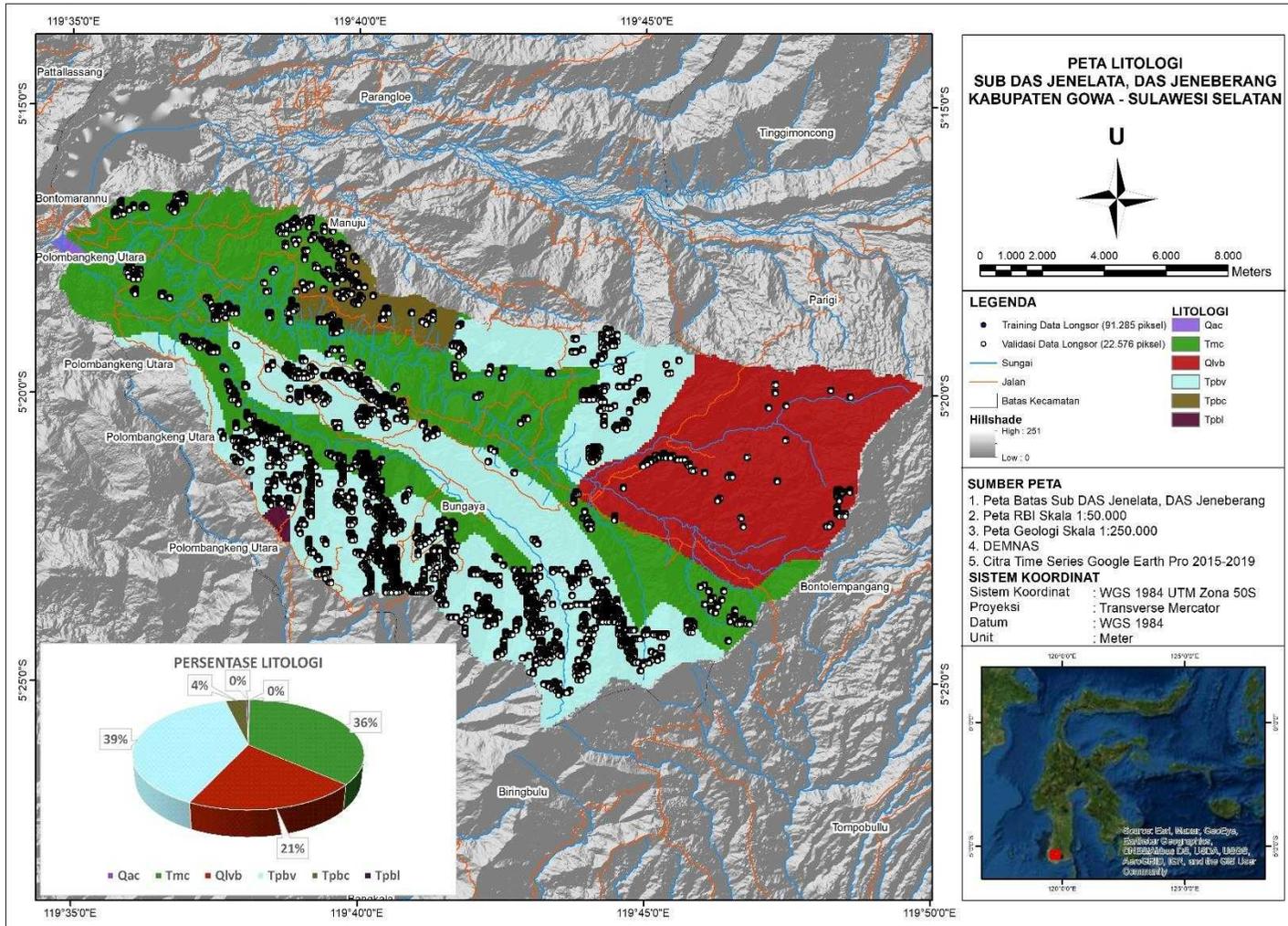
**Lampiran 1.** Longsor di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang



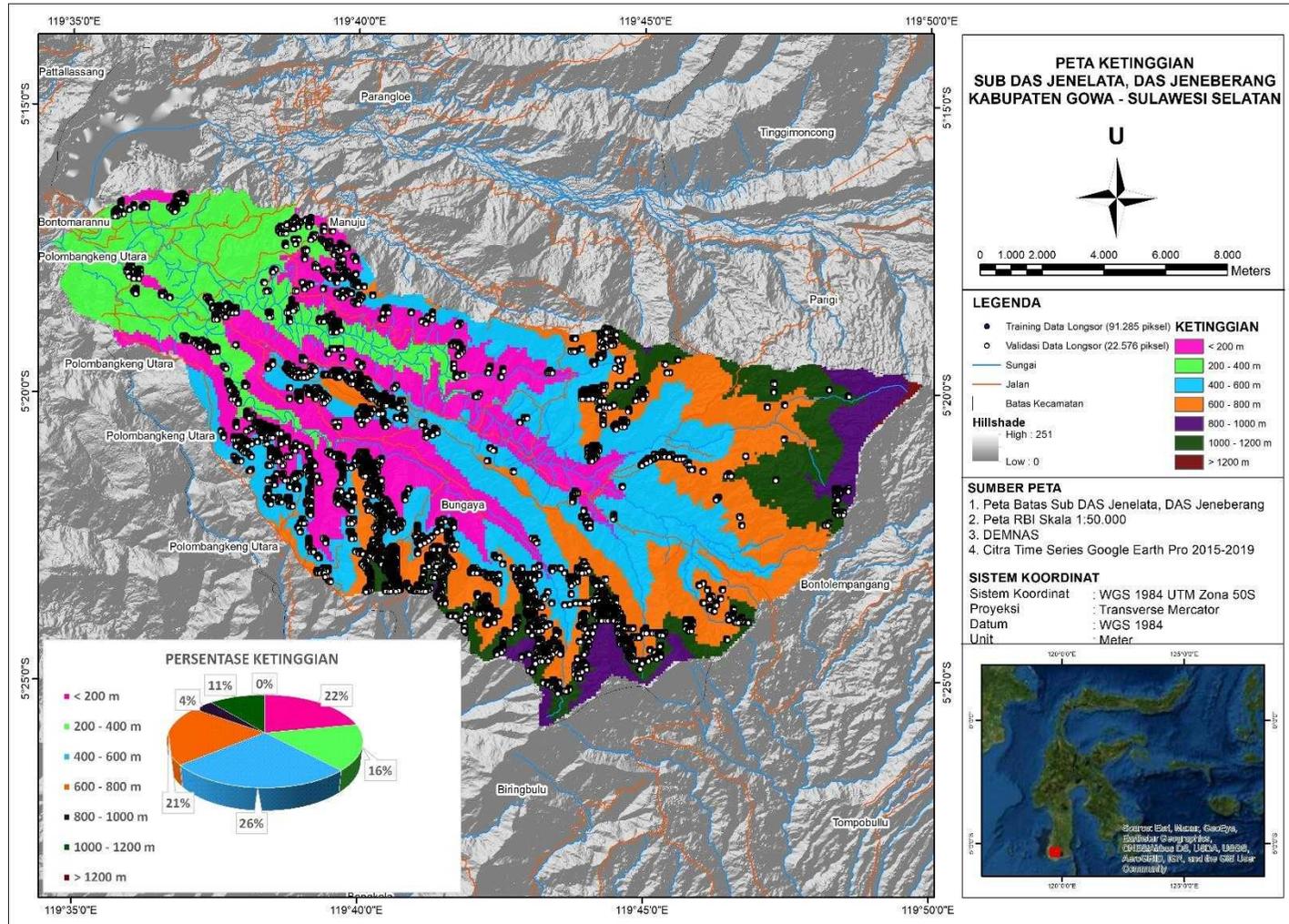
**Lampiran 2. Peta Penutupan Lahan di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang**



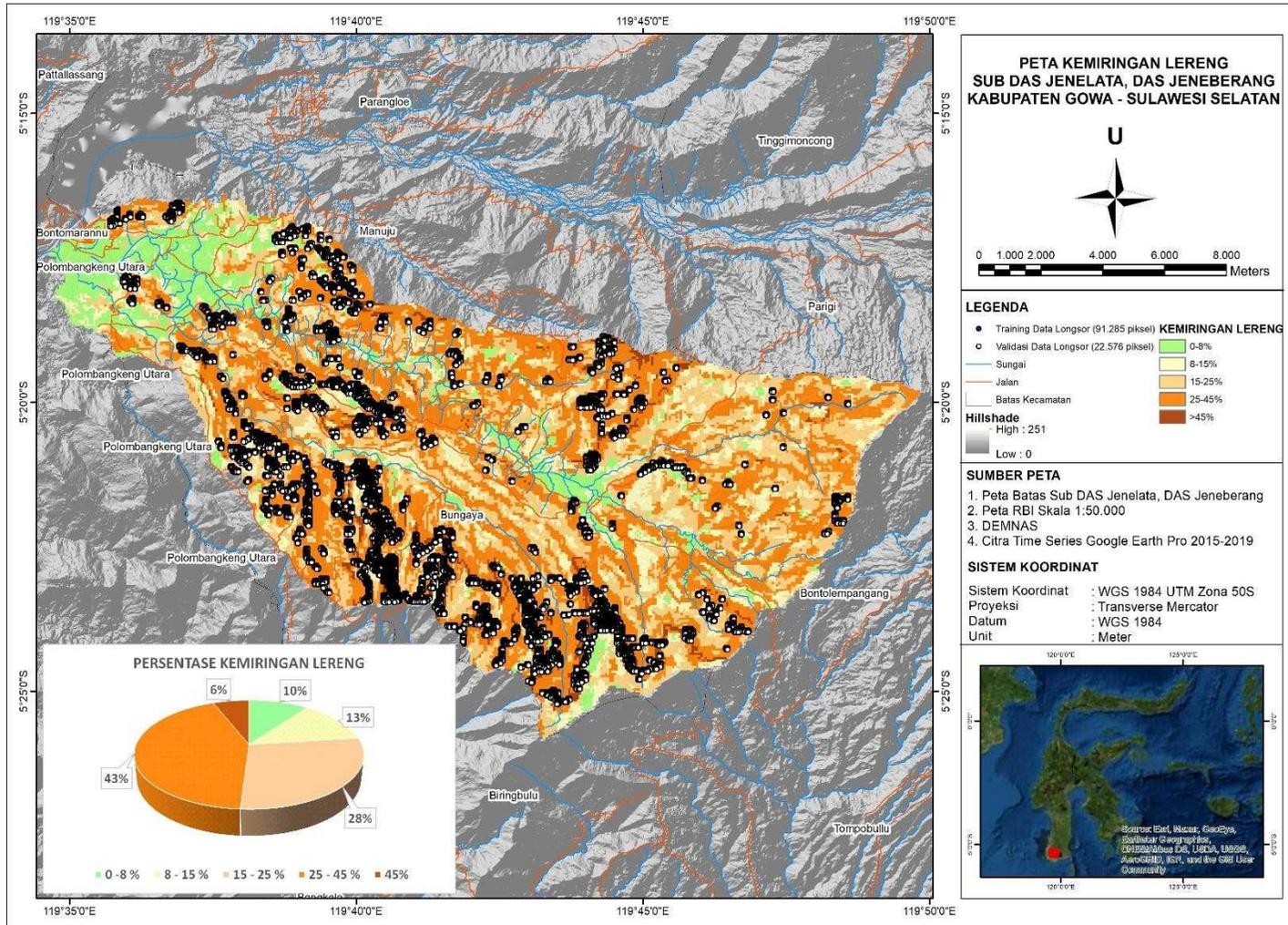
### Lampiran 3. Peta Litologi di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang



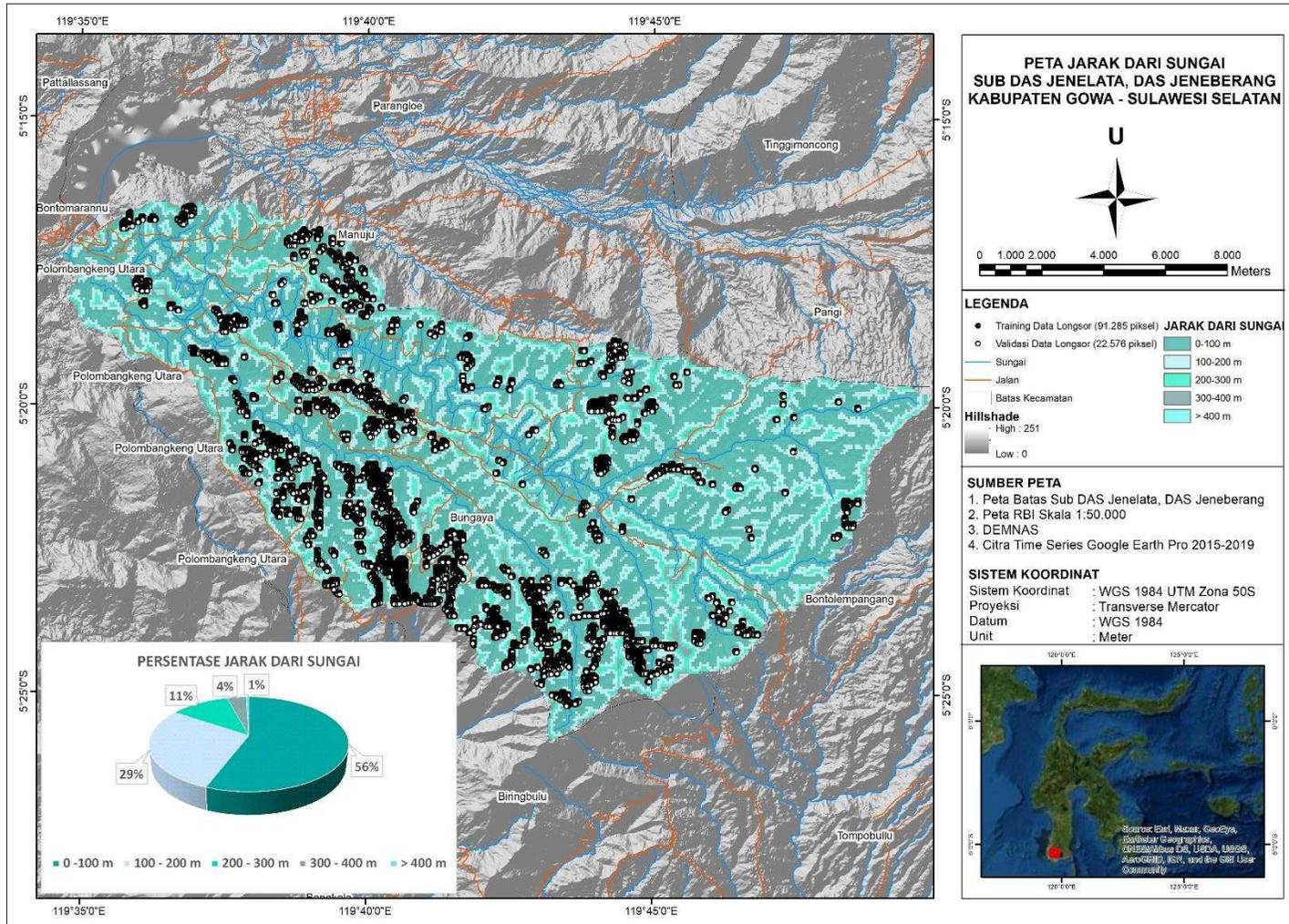
**Lampiran 4. Peta Ketinggian di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang**



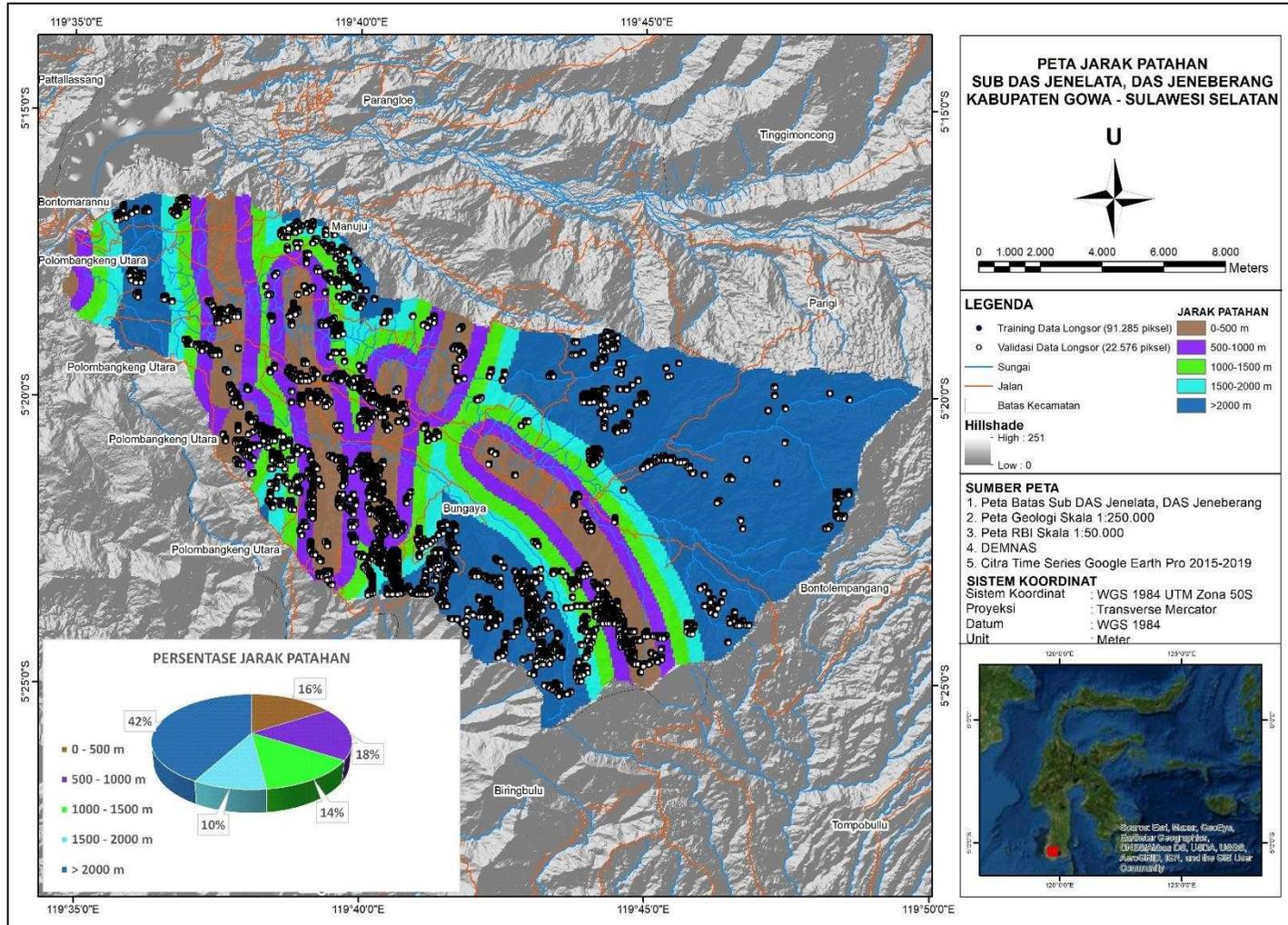
**Lampiran 5. Peta Kemiringan Lereng di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang**



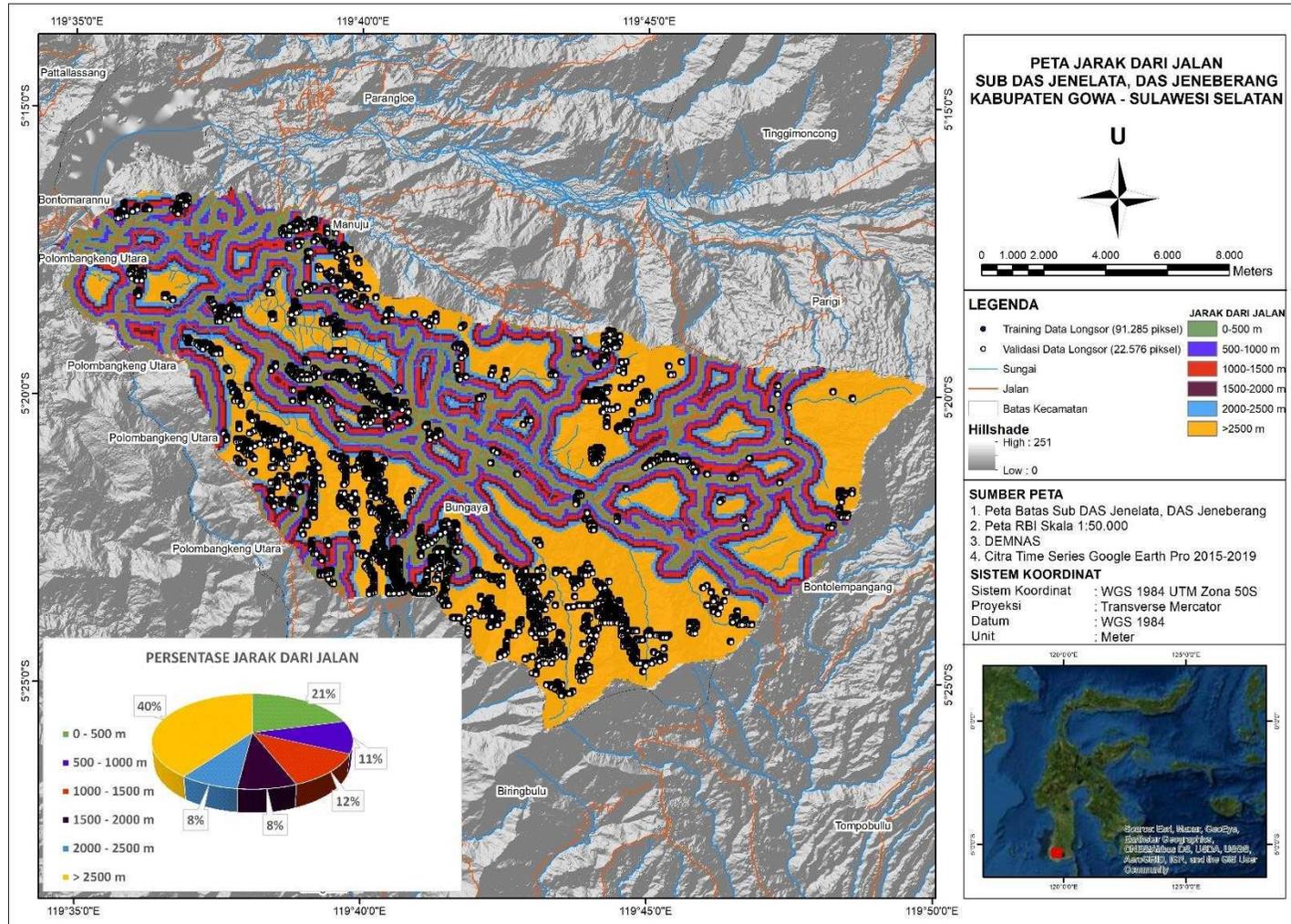
**Lampiran 6. Peta Jarak Dari Sungai di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang**



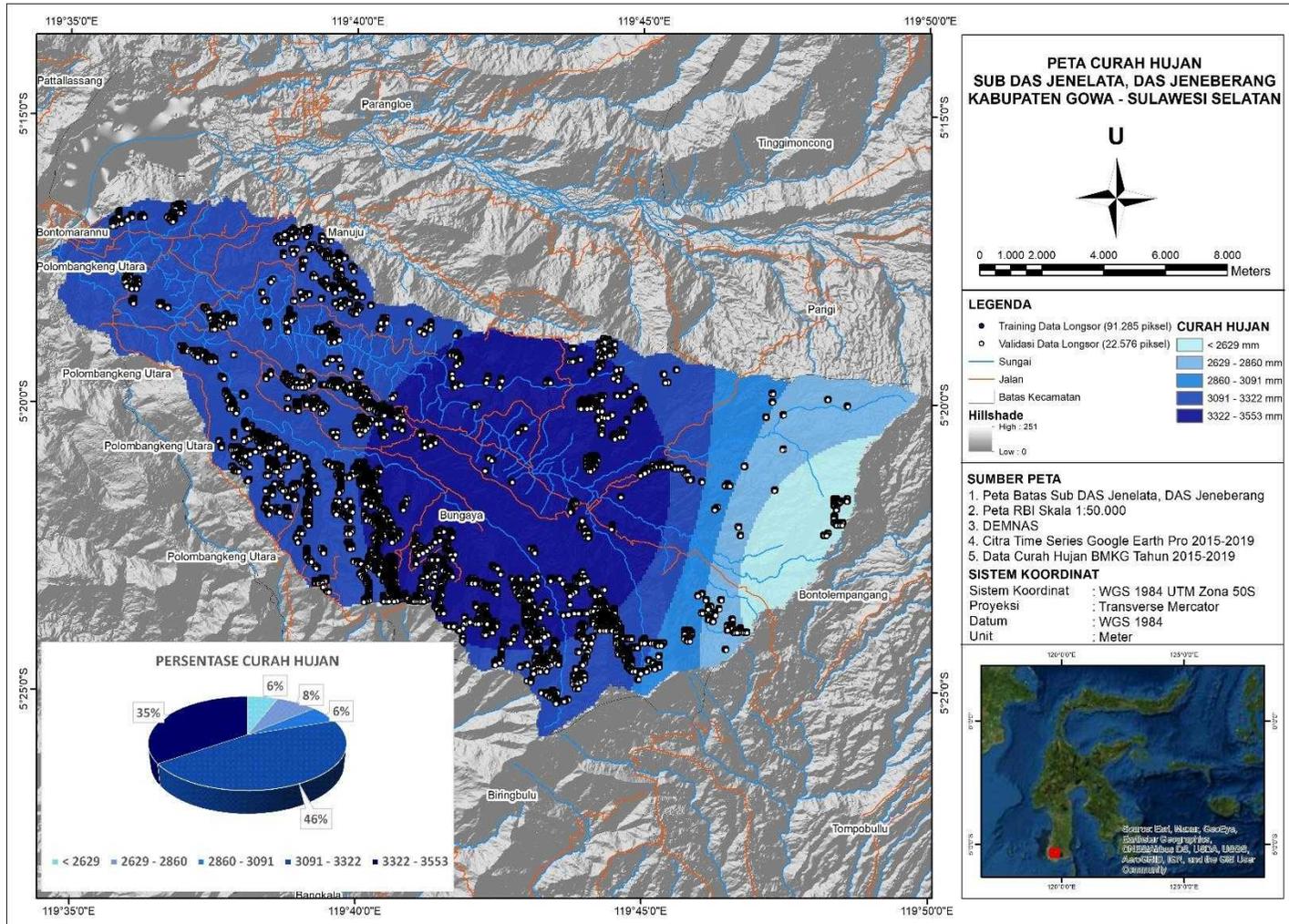
**Lampiran 7. Peta Jarak Patahan di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang**



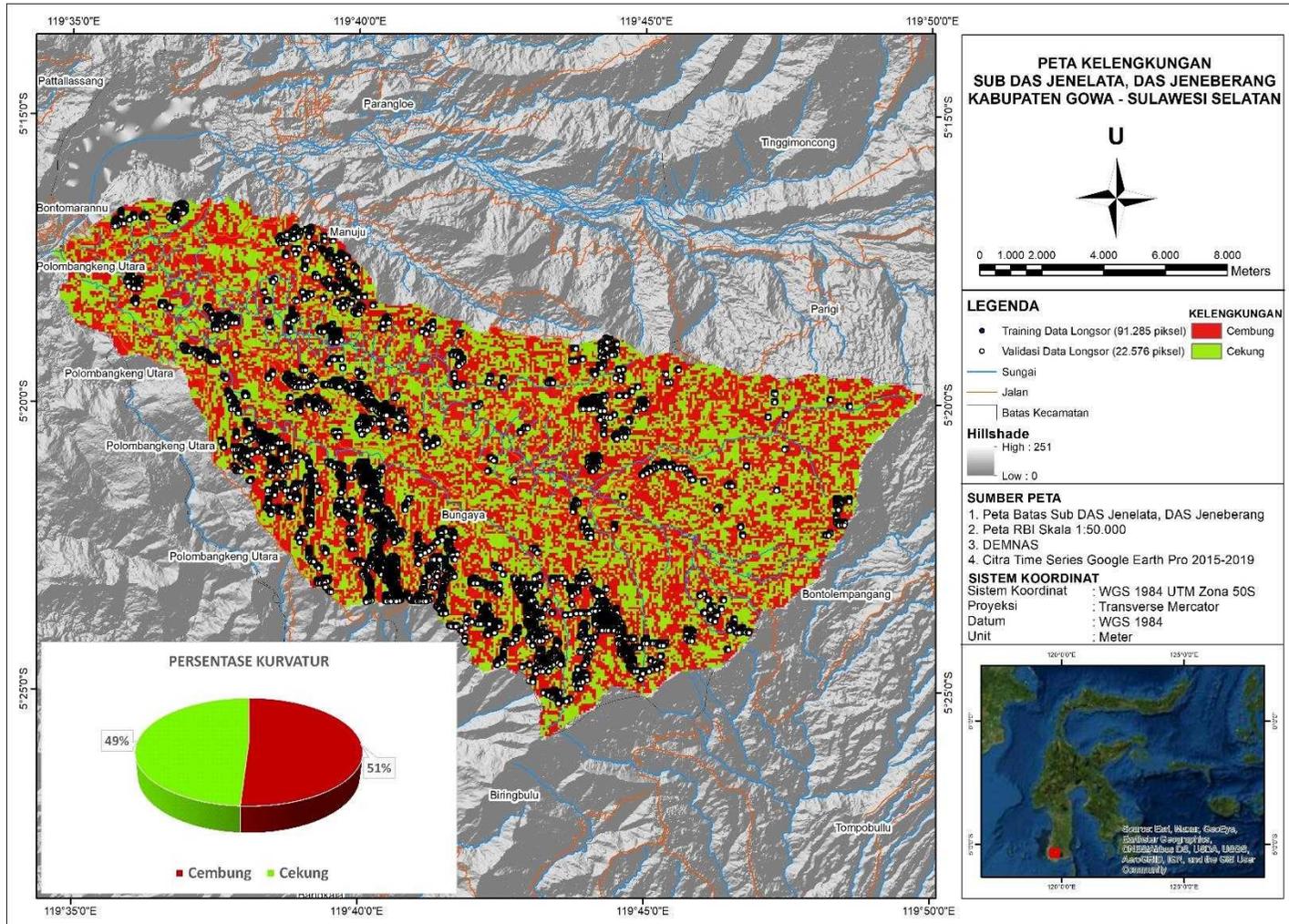
**Lampiran 8. Peta Jarak Dari Jalan di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang**



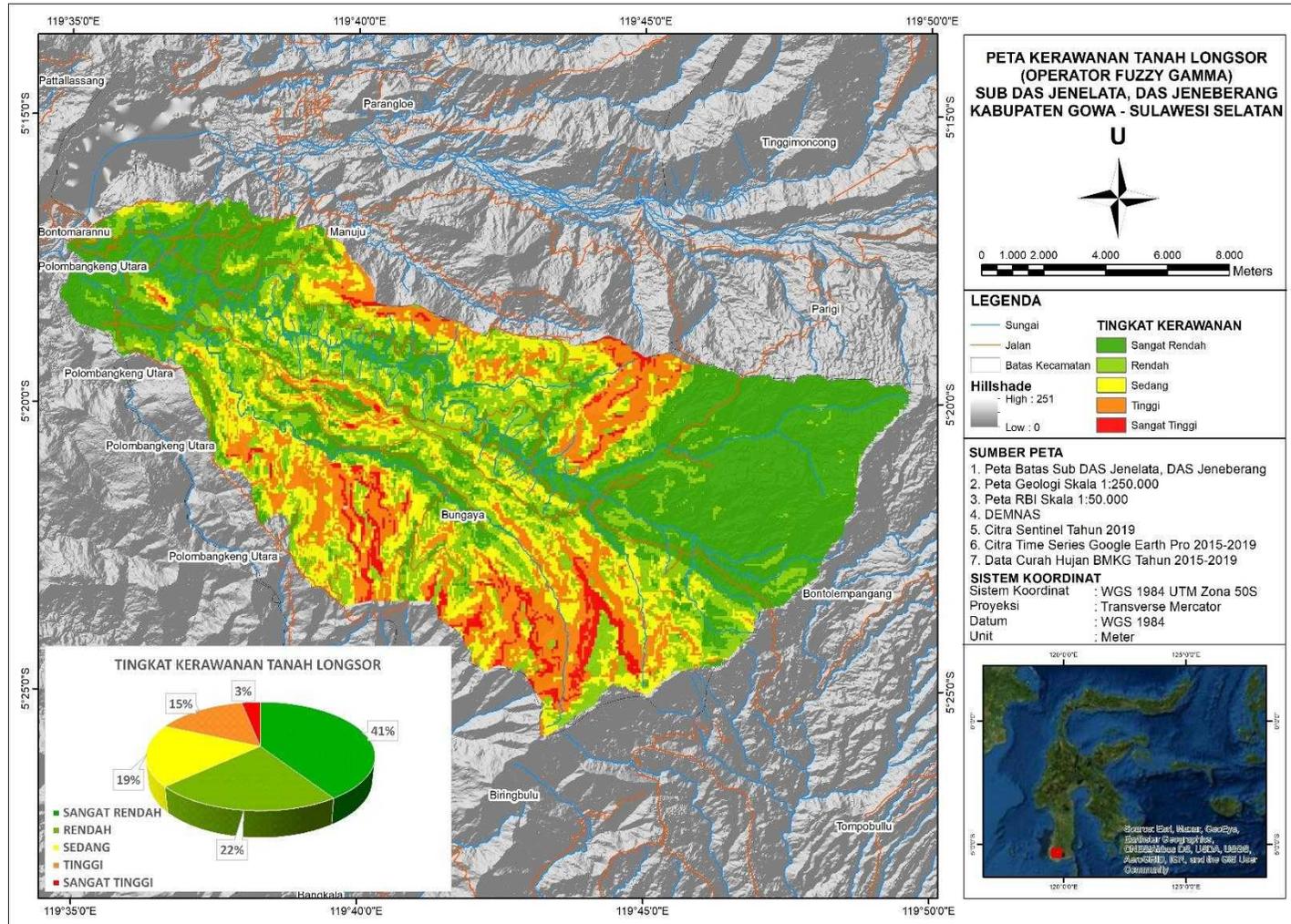
**Lampiran 9. Peta Curah Hujan di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang**



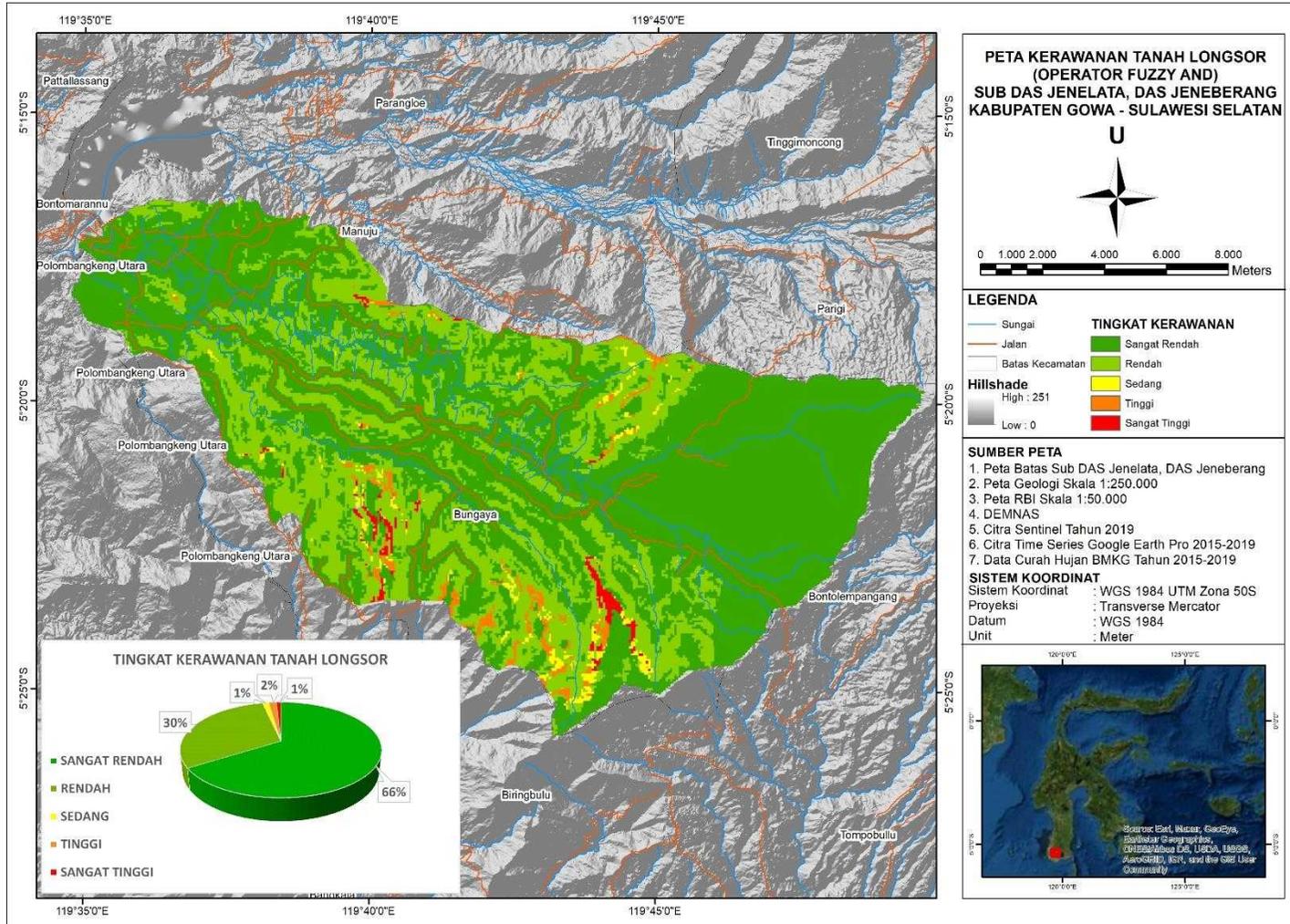
**Lampiran 10.** Peta Kelengkungan Bumi di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang



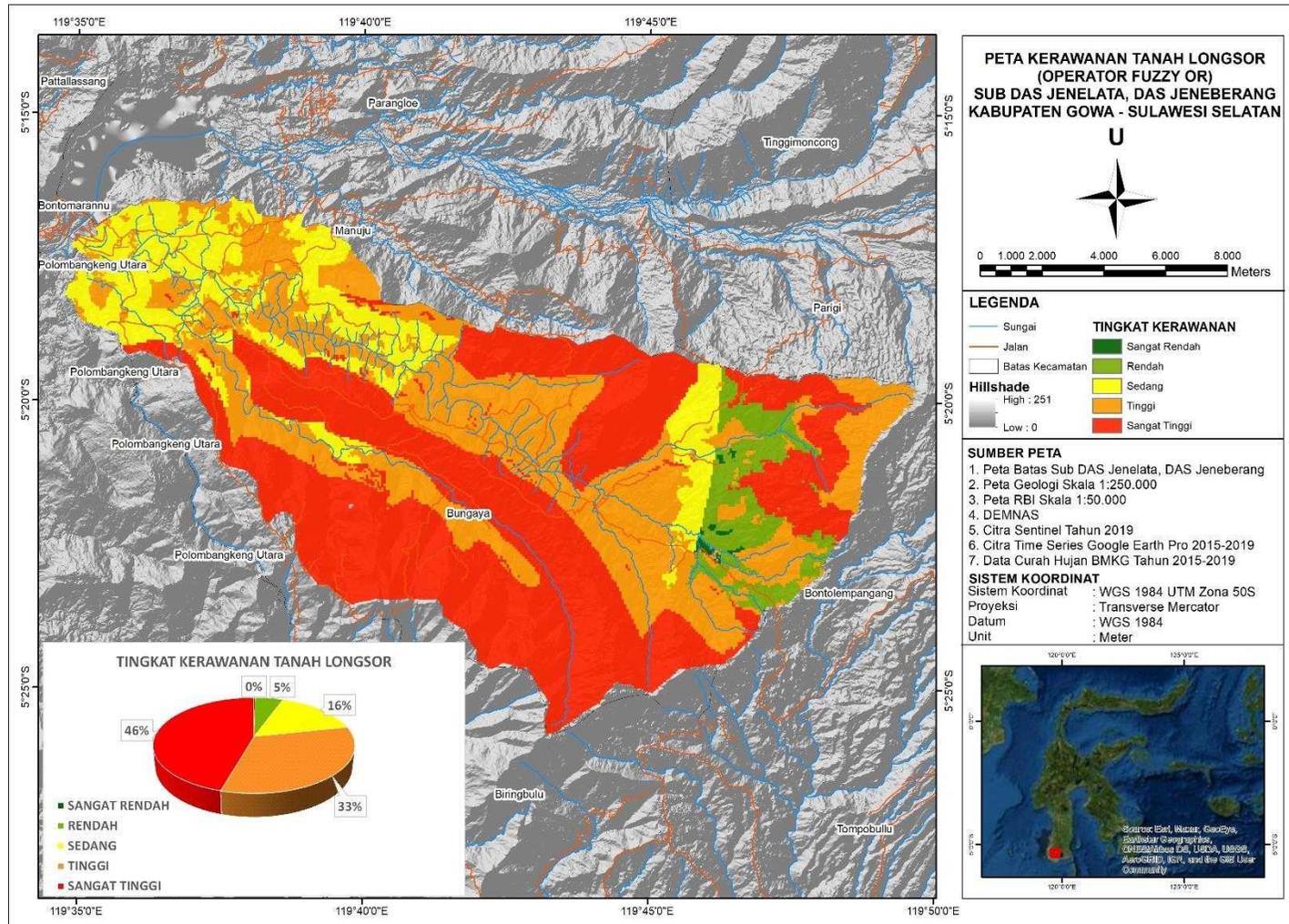
**Lampiran 11.** Peta Kerawanan Tanah Longsor (Operator *Fuzzy Gamma*) di Sub DAS Jenelata



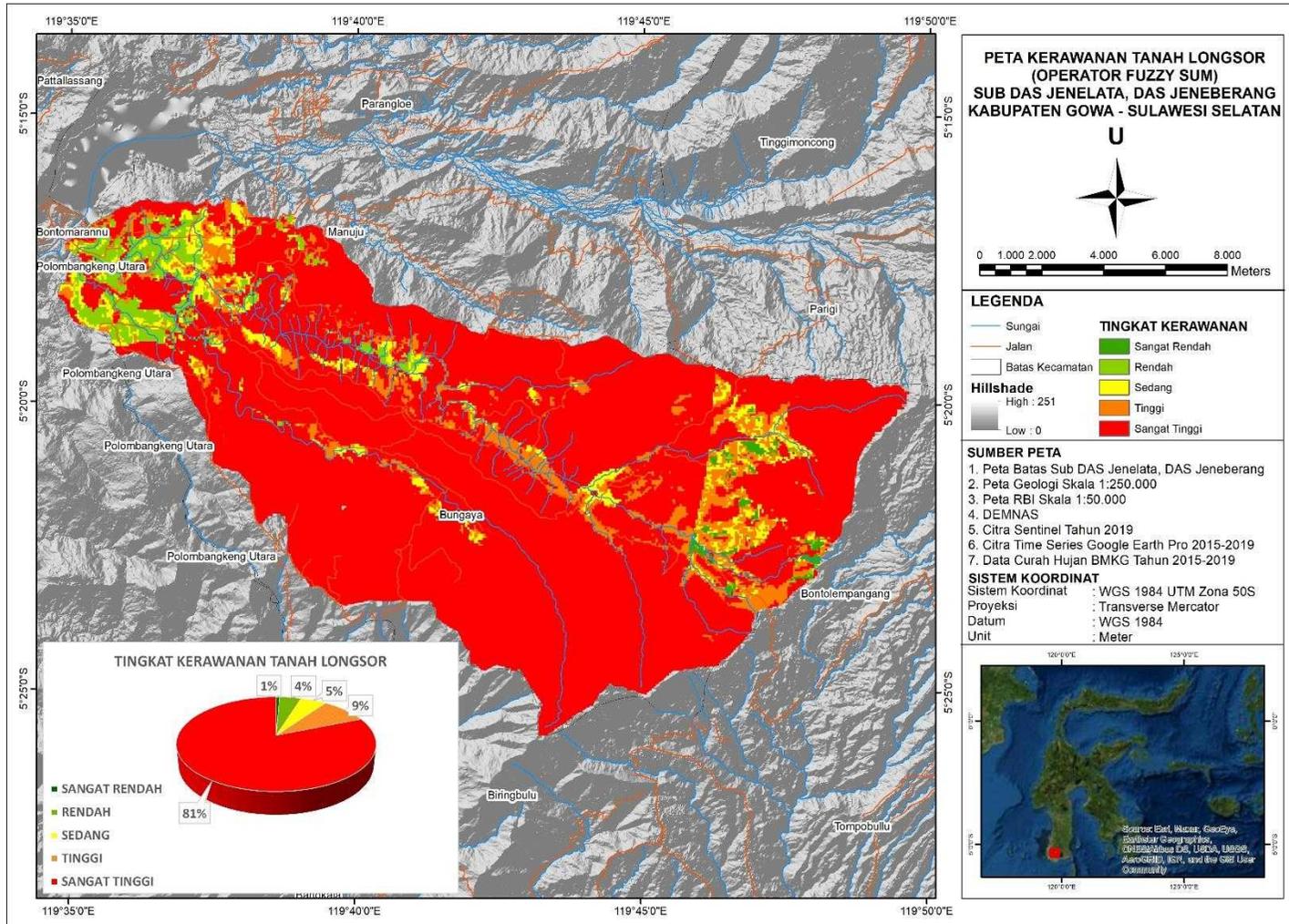
**Lampiran 12.** Peta Kerawanan Tanah Longsor (Operator *Fuzzy And*) di Sub DAS Jenelata



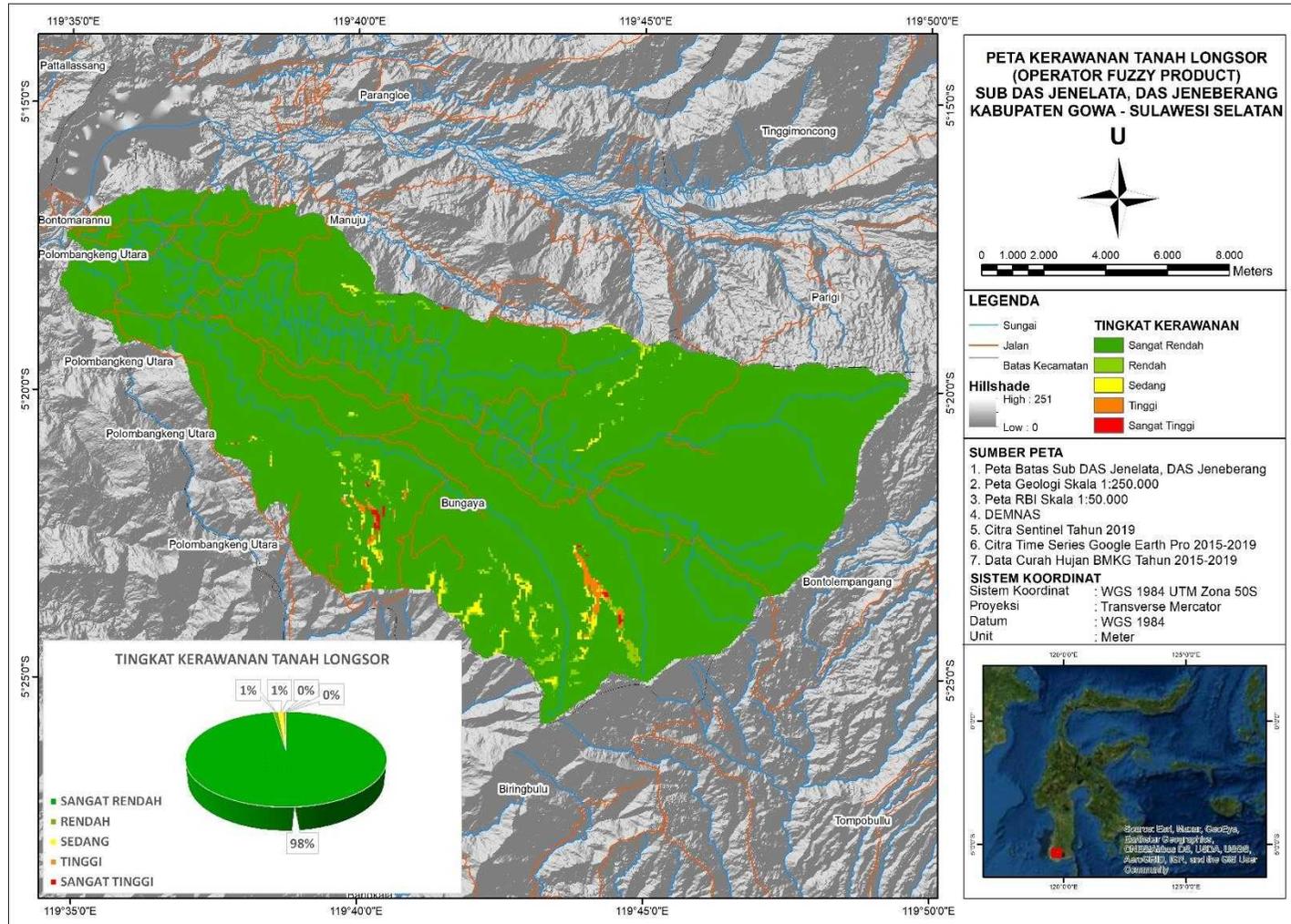
**Lampiran 13.** Peta Kerawanan Tanah Longsor (Operator *Fuzzy Or*) di Sub DAS Jenelata



**Lampiran 14.** Peta Kerawanan Tanah Longsor (Operator *Fuzzy Sum*) di Sub DAS Jenelata



**Lampiran 15.** Peta Kerawanan Tanah Longsor (Operator *Fuzzy Product*) di Sub DAS Jenelata



**Lampiran 16.** Tabel Sebaran Luas (ha) Kerawanan Longsor Berdasarkan Operator *Fuzzy Gamma* di Kecamatan Sub DAS Jenelata,

No	Kecamatan	Kelas Kerawanan	Luas (ha)	Persentase (%)
1.	Biringbulu	rendah	0,21	0
		sedang	1,60	0,01
		tinggi	1,09	0
		sangat tinggi	0,46	0
2.	Bontolempangang	sangat rendah	2292,65	10,23
		rendah	141,53	0,63
		sedang	1,94	0,01
		tinggi	0,62	0
3.	Bungaya	sangat rendah	4508,91	20,12
		rendah	3816,14	17,03
		sedang	3520,49	15,71
		tinggi	3098,59	13,83
		sangat tinggi	669,70	2,99
4.	Manuju	sangat rendah	2242,81	10,01
		rendah	1112,02	4,96
		sedang	663,45	2,96
		tinggi	301,90	1,35
		sangat tinggi	34,30	0,15
5.	Parigi	sangat rendah	2,16	0,01
6.	Polombangkeng Utara	rendah	0,01	0
		sedang	0,03	0

Sumber: Peta RBI Skala 1 : 50.000 dan Hasil Analisis SIG

**Lampiran 17.** Tabel *Confusion Matrix* Penutupan Lahan tahun 2019 di Sub DAS Jenelata

<b>Penutupan Lahan</b>	Badan Air	Hutan Lahan Kering Sekunder	Pemukiman	Perkebunan	Pertanian lahan Kering Campur Semak	Sawah	Semak Belukar	<b>Total</b>
Badan Air	<b>6</b>	0	0	0	0	0	0	6
Hutan Lahan Kering Sekunder	0	<b>209</b>	0	0	0	0	0	209
Pemukiman	0	0	<b>8</b>	0	0	0	0	8
Perkebunan	0	1	1	<b>33</b>	1	2	0	38
Pertanian lahan Kering Campur Semak	0	0	0	1	<b>43</b>	1	0	45
Sawah	0	0	0	0	0	<b>42</b>	0	42
Semak Belukar	0	2	1	3	1	2	<b>27</b>	36
<b>Total</b>	6	212	10	37	45	47	27	<b>384</b>

Sumber: Citra *Time Series Google Earth Pro* dan Hasil Analisis SIG

Keterangan:

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{368}{384} \times 100\% = 95,83\%$$