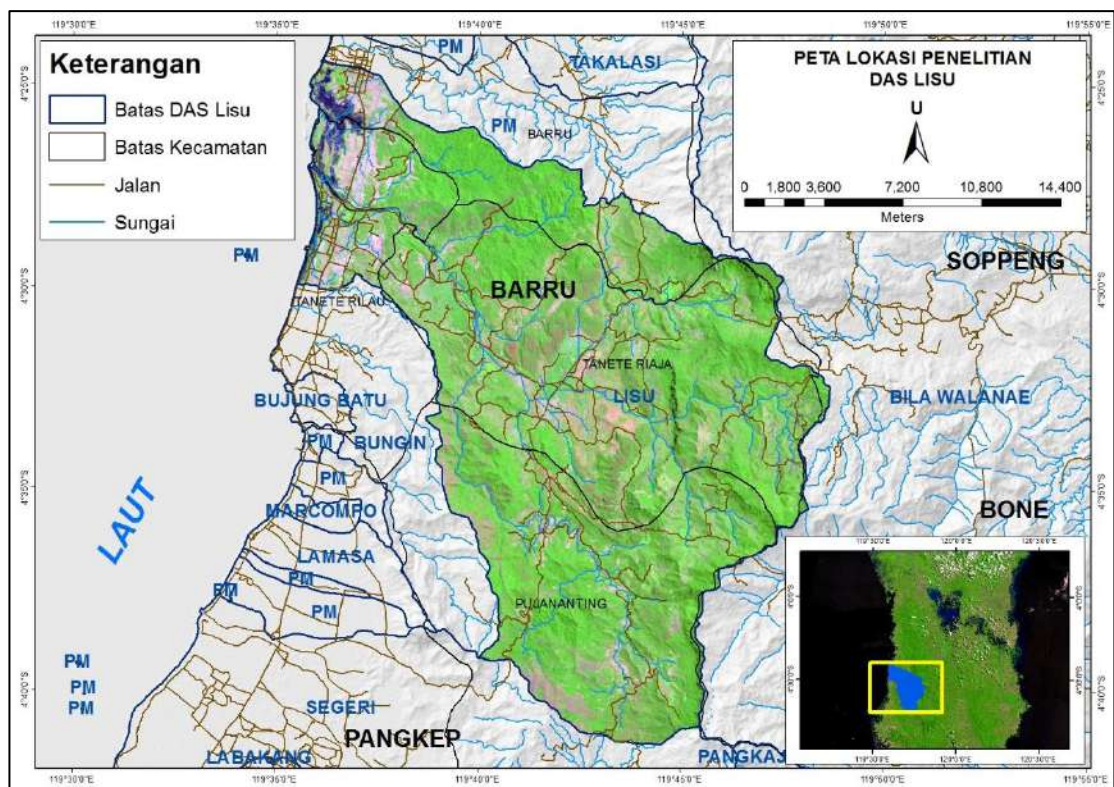


kerentanan longsor yaitu tidak rentan, sedikit rentan, cukup rentan, dan sangat rentan. Hasil dari akurasi studi kasus ini sebesar 79,7% sehingga metode ini cukup direkomendasikan dan diterapkan dalam upaya mitigasi tanah longsor. Salah satu contoh studi kasus internasional yang menggunakan pendekatan metode FR ini yaitu studi kasus cekungan caiyuan di daerah pegunungan tenggara cina pada tahun 2020. Ini membuktikan bahwa metode ini telah banyak digunakan dalam menganalisis tingkat kerawanan longsor.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama empat bulan, dari bulan Oktober 2022 hingga bulan Januari 2023, yang berlokasi pada DAS Lisu. Ada dua tahapan kegiatan, yaitu kegiatan di lapangan dan pengolahan analisis data spasial yang dilakukan di Laboratorium Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin. DAS Lisu secara administrasi terletak pada Kabupaten Barru yang masuk dalam Kecamatan Tanete Riaja, Barru, Tanete Rilau, dan Pujananting. Berikut ini lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian DAS Lisu

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

3.2.1. Alat

- a. Laptop yang dilengkapi dengan *software* GIS yaitu aplikasi *ArcMap 10.4.1*, *Google Earth Pro*, *Microsoft Office*, dan *SPSS* untuk analisis data spasial.
- b. Kamera, untuk dokumentasi lokasi penelitian kejadian tanah longsor.
- c. Alat tulis menulis, untuk mencatat data-data hasil pengamatan di lapangan.

3.2.2. Bahan

- a. Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:50.000 tahun 1999.
- b. Peta Batas Daerah Aliran Sungai Lisu, sumber dari SK Kementerian LHK tahun 2018 Nomor SK304 tentang Penetapan Peta Daerah Aliran Sungai.
- c. Peta Geologi Sesar Indonesia, sumber dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Indonesia dengan skala 1:250.000 Tahun 1995
- d. Citra *time series* dari *Google Earth Pro* tahun 2017-2021.
- e. Citra Landsat 8 Tahun 2021 (*path* 114 dan *row* 63), sumber USGS *Earth Explorer*.
- f. Data DEMNAS Tahun 2021 dengan resolusi 8 meter, sumber DEMNAS Inageoportal.
- g. Data curah hujan Tahun 2017-2021, sumber data titik *global weather* dan data spasial curah hujan dari situs Satelit MERRA NASA.
- h. Peta batas administrasi Kabupaten Barru, sumber Ina Geoportal Indonesia.

3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini melalui beberapa tahapan, yaitu identifikasi tanah longsor, pengumpulan data dan olah data, serta analisis data dan validasi.

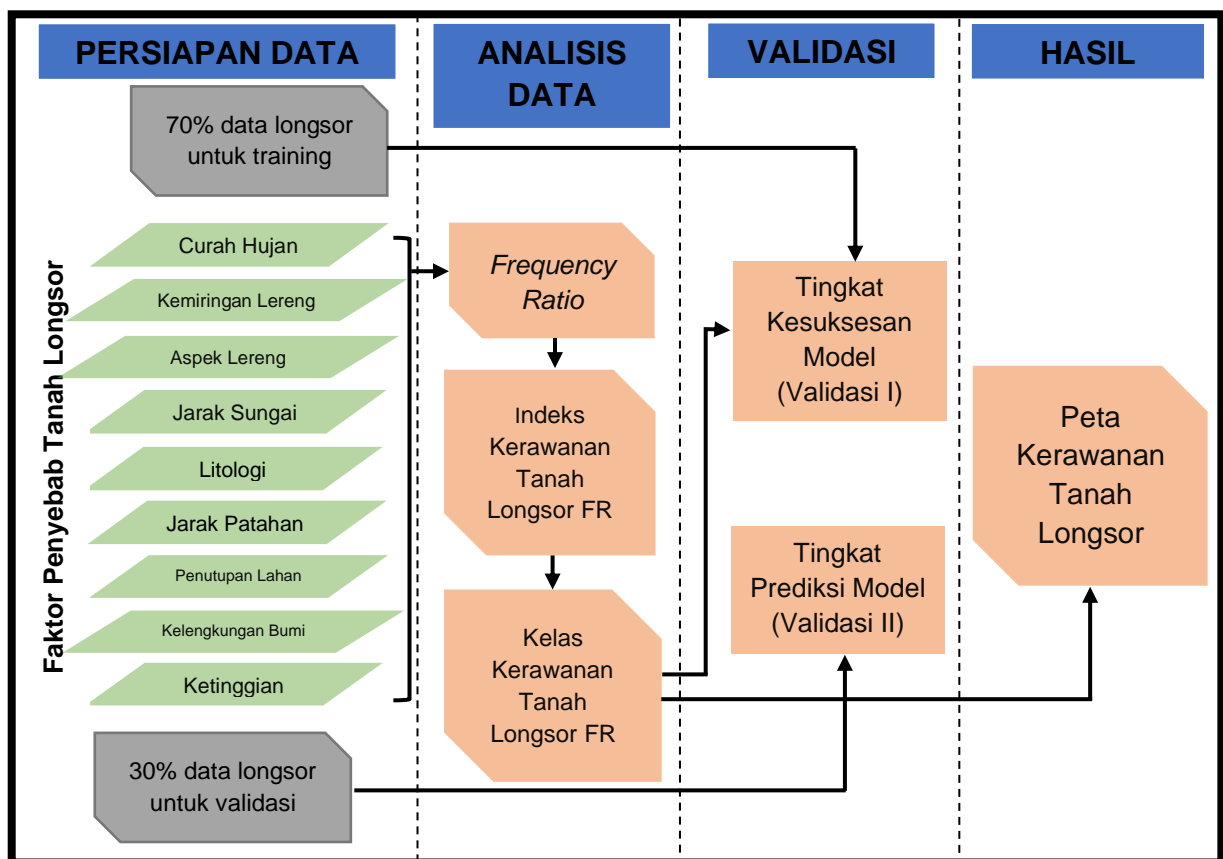
3.3.1. Identifikasi Tanah Longsor

Tahap ini, dilakukan pengidentifikasian lokasi terjadinya tanah longsor dan inventarisasi tanah longsor selama lima tahun terakhir mulai dari tahun 2017 sampai 2021 dengan memanfaatkan citra *time series* dari aplikasi *google earth pro*. Lokasi

tanah longsor diberikan tanda titik sebagai penanda koordinat dan poligon longsor tersebut. Identifikasi tanah longsor yang terjadi tahun ke tahun digunakan sebagai data primer.

3.3.2. Pengumpulan Data dan Olah Data

Ada beberapa pengumpulan data yang dilakukan yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan yaitu data titik koordinat longsor dan data kejadian longsor yang sudah di inventarisasi di *google earth* yang dimasukkan kedalam *ArcGIS* dengan format (.kmz), dan juga dilakukan validasi koordinat dilapangan saat melakukan survei atau *ground check*. Proses olah data yang dilakukan dapat dilihat pada bagan alir penelitian pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Data sekunder yaitu beberapa data faktor pengkondisi tanah longsor yang digunakan untuk melakukan analisis kerawanan tanah longsor ini yaitu curah hujan, kemiringan lereng, aspek lereng, jarak dari sungai, litologi, jarak patahan, penutupan lahan, kelengkungan bumi, dan ketinggian.

a. Curah Hujan

Data curah hujan didapatkan dari data titik *global weather* untuk menentukan titik stasiun terdekat dari sebuah DAS, dan data spasial curah hujan dari situs Satelit MERRA NASA sebagai data mentah kemudian diolah di *ArcGIS*. Pada pengelolaan di *ArcGIS* menggunakan metode *isohyet* untuk analisis intensitas curah hujan per tahunnya. Menurut Lesawengan dan Prasetyo (2017) metode ini merupakan metode yang paling teliti untuk menghitung kedalaman hujan rata-rata di suatu luas wilayah tertentu.

b. Kemiringan Lereng

Pada suatu wilayah memiliki kelerengan yang berbeda-beda. Data kelerengan ini diambil dari data DEMNAS pada portal. Data mentah ini diolah di *ArcGIS* dengan menggunakan *tools slope* lalu melakukan *classification* pada *tools* yang tersedia. Hasil dari pengelolaan data terdapat lima kelas klasifikasi kemiringan kelas lereng yaitu 0 - 8% (datar), 8% - 15% (landai), 15% - 25% (agak curam), 25% - 45% (curam), dan >45% (sangat curam). Hal inilah yang dapat menjadi faktor penyebab terjadinya longsor.

c. Penutupan Lahan

Penutupan lahan menjadi salah satu indikator yang berpengaruh dalam terjadinya longsor. Pengelolaan data penutupan lahan didapatkan dari Citra Landsat 8 tahun 2021 (*path 114 row 63*) pada *platform USGS earth explorer* sebagai data mentah saat melakukan proses digitasi terbimbing dengan acuan klasifikasi dari Direktorat Perdirjen Planologi tahun 2020. Hasil dari digitasi ini dilakukan uji akurasi sistem melalui perbandingan data prediksi dan data lapangan. Uji akurasi perbandingan ini dibantu dengan matriks kesalahan/*confussion matrix* sebagai cara untuk mengetahui tingkat *error* dalam mendigitasi di citra (data prediksi) dan dibandingkan dengan data di lapangan (data aktual).

d. Kelengkungan Bumi (*Curvature*)

Data kelengkungan bumi didapatkan dari data DEM Nasional sama halnya dengan data kelerengan. Pembuatan peta menggunakan *tools* di *ArcGIS* yaitu *contour*. Pada hasil *contour* menghasilkan tiga kelas morfologi topografi yaitu cembung, datar, dan cekung. Hasil morfologi topografi ini mengindikasikan bahwa lapangan wilayah penelitian memiliki kelengkungan topografi yang berbeda-beda.

e. Ketinggian

Peta ketinggian sumber data mentah didapatkan dari data DEM Nasional sama halnya dengan kelerengan dan *contour*. Data yang dihasilkan berbagai macam ketinggian yang berbeda dari satu wilayah dengan wilayah lainnya dengan menggunakan *tools natural breaks* pada ArcGIS untuk menghasilkan kelas klasifikasi ketinggian.

f. Aspek Lereng

Data aspek lereng atau arah lereng didapatkan dari data DEM Nasional sama halnya dengan data kelerengan. Pembuatan data aspek menghasilkan delapan kelas arah lereng yaitu utara, utara timur laut, timur, tenggara, selatan, selatan barat daya, barat, utara barat daya.

g. Jarak Sungai

Pembuatan data peta jarak sungai membutuhkan data DEMNAS dan diolah di ArcGIS dengan *tools hydrology*. Proses ini akan menghasilkan berbagai macam alur jaringan-jaringan sungai. Selanjutnya dilakukan proses pengelolaan pada *tools Euclidean Distance* untuk menghasilkan jarak dari jaring-jaring sungai. Pengklasifikasian terdapat lima kelas yaitu 0 - 100 m, 100 – 200 m, 200 – 300 m, 300 – 400 m, dan >400 m.

h. Jarak Patahan

Peta jarak patahan didapatkan melalui hasil ekstraksi data dari Peta Geologi yang dikeluarkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Indonesia dengan skala 1:250.000 Tahun 1995. Pengelolaan data untuk jarak patahan diolah menggunakan *tools Euclidean Distance*. Hasil yang didapatkan terdapat lima kelas ketinggian yaitu 0 - 500 m, 500 – 1.000 m, 1.000 – 1.500 m, 1.500 – 2.000 m, dan >2.000 m.

i. Litologi

Peta litologi didapatkan dari hasil ekstraksi data dari peta geologi yang dikeluarkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Indonesia. Hasil dari keluaran ini menghasilkan berbagai macam bentukan batuan yang peka terhadap longsor. Contoh batuan Endapan Aluminium (Qac), Formasi Camba (Tmc), dll. Faktor-faktor pengkondisi inilah yang nanti diolah ke dalam ArcGIS dengan memanfaatkan *tools-tools* yang tersedia. Data diolah dengan menerapkan konsep metode FR.

3.3.3. Validasi Data Tanah Longsor dan Tutupan Lahan

Validasi data tanah longsor dan tutupan lahan dilakukan menggunakan metode *Ground Check* atau survei lapangan. Survei lapangan dilakukan untuk memvalidasi kejadian tanah longsor secara langsung dan tutupan lahan yang telah dilakukan digitasi. Pada survei lapangan, pendapat masyarakat daerah setempat juga penting untuk diketahui karena masyarakat mengalami kejadian tanah longsor secara langsung. Pemilihan titik tanah kejadian tanah longsor untuk validasi dilakukan dengan *random sampling*.

Validasi data untuk tutupan lahan menggunakan *Confusion Matrix* sebagai metode untuk menguji validasi tingkat akurasi penutupan lahan secara prediksi dan aktual di lapangan. *Confusion Matrix* ini memprediksi data awal pada suatu sistem, dan dilakukan uji validasi di lapangan sebagai data aktual. Setelah itu dilakukan perbandingan data dan dilakukan analisis data untuk menguji tingkat akurasi.

Analisis data dengan menggunakan *Confusion Matrix* sebagai uji akurasi citra pada data tutupan lahan. *Confusion Matrix* adalah sebuah metode yang biasa digunakan untuk perhitungan akurasi, *recall*, *precision*, dan *error rate*. Dimana, *precision* mengevaluasi kemampuan sistem untuk menemukan peringkat yang paling relevan, dan didefinisikan sebagai persentase dokumen yang di *retrieve* dan benar-benar relevan terhadap *query*. *Recall* mengevaluasi kemampuan sistem untuk menemukan semua item yang relevan dari koleksi dokumen dan didefinisikan sebagai persentase dokumen yang relevan terhadap *query*. *Accuracy* merupakan perbandingan kasus yang diidentifikasi benar dengan jumlah seluruh kasus dan *error rate* merupakan kasus yang diidentifikasi salah dengan jumlah seluruh kasus (Arini, dkk., 2020).

Perhitungan akurasi klasifikasi citra dilakukan dengan metode *confusion matrix*. Pada *confusion matrix*, data hasil klasifikasi citra dan data hasil pengecekan di lapangan kemudian disusun dalam sebuah tabel perbandingan persentase. Tingkat keakuratan interpretasi citra dapat diterima jika memperoleh nilai $> 85\%$ (Lillesand and Kiefer, 1994). Uji klasifikasi citra digunakan untuk mengetahui sejauh mana keakuratan interpretasi citra yang telah dilakukan. Uji akurasi ini menggunakan dua rumus yaitu *overall accuracy (OA)* dan *kappa accuracy (KA)*, dimana OA masih dianggap *over estimate* sehingga jarang digunakan sebagai indikator yang baik untuk mengukur kesuksesan suatu

klasifikasi sehingga digunakan KA dimana persentase akurasi menggunakan semua elemen matriks *confusion matriks*. Rumus KA dan OA dapat di lihat pada Tabel dengan persamaan sebagai berikut :

Overall Accuracy (OA) :

$$OA = \frac{x}{N} \times 100\%$$

Keterangan :

X : Jumlah nilai diagonal matriks

N : Jumlah sampel matriks

Kappa Accuracy (KA) :

$$KA = \frac{\sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} + X + i}{N^2 \sum X_{i+} + X + i}$$

Keterangan :

X_{ii} : Nilai diagonal matriks kontingensi baris ke-i dan kolom ke-i

X₊₁ : Jumlah nilai dalam kolom ke-i

X_{i+} : Jumlah nilai dalam baris ke-i

N : Banyaknya piksel dalam contoh

Tabel 1. *Confusion Matriks*

	Data Acuan (Pengecekan Lapangan)			Total
	A	B	C	
Data Hasil Klasifikasi Citra	A'	X _n		∑ X _n
	B'			
	C'			
		∑ X _n		N

3.4. Analisis Data

Analisis data yang digunakan pada tingkat kerawanan tanah longsor ini yaitu analisis tingkat kerawanan tanah longsor dan validasi.

3.4.1. Analisis Tingkat Kerawanan Tanah Longsor

Tanah longsor dan penyebabnya saling berkaitan dan dapat disimpulkan antara daerah yang longsor terjadi dengan faktor penyebab terjadinya longsor. Teknik statistik sederhana untuk menentukan kedekatan hubungan telah diterapkan

pada pendekatan FR. FR untuk setiap faktor penyebab dihitung dengan membagi tingkat kejadian longsor dengan rasio luas. Jika rasionya lebih besar dari 1,0, hubungan antara longsor dan faktor penyebab lebih tinggi, dan jika hubungannya kurang dari 1,0, hubungannya rendah (Lee dan Lee, 2006). Analisis data pada perhitungan metode *frequency ratio* menurut Soma dan Kubota (2017) yaitu :

$$FR = \frac{P_{xcL} (nm) / \Sigma P_{xcL}}{Pixel (nm) / \Sigma P_{nx}}$$

Keterangan :

FR = nilai *frequency ratio*

P_{xcL} = jumlah piksel dengan tanah longsor di dalam kelas n dari parameter m (nm)

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

ΣP_{xcL} = total piksel longsor

ΣP_{nx} = keseluruhan piksel dari area

Dalam membuat *Landslide Susceptibility Index* (LSI) atau indeks kerentanan tanah longsor, semua faktor penyebab dipetakan dalam bentuk peta raster dari nilai FR kemudian dijumlahkan dengan menggunakan rumus (Soma dan Kubota, 2017).

$$LSI = FR_1 + FR_2 + FR_3 + \dots + FR_n$$

Dimana FR_1 hingga FR_n dalam bentuk data raster hasil FR lalu dilakukan kalkulasi terhadap semua faktor FR. Kemudian nilai indeks ini diklasifikasikan menjadi lima kelas kerentanan tanah longsor yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, sangat tinggi yang disajikan dalam peta kerawanan tanah longsor.

3.4.2 Validasi pada Kerawanan Tanah Longsor

Proses validasi data hasil analisis kerawanan tanah longsor, digunakan metode analisis *Receiver Operating Characteristics* (ROC) yang mengikutsertakan sejumlah titik validasi. Metode ini adalah metode untuk mengukur kemampuan klasifikasi dalam menentukan *threshold* dari suatu model (Mathew, dkk., 2014; Nugroho dan Nugroho, 2020). Penentuan *threshold* tersebut dapat digambarkan dengan mengetahui luas area dari suatu model atau yang disebut *Area Under Curve* (AUC). Untuk memvalidasi peta kerawanan dengan kurva AUC digunakan sebagai ukuran kecocokan keseluruhan dan perbandingan prediksi yang dimodelkan. Area

tersebut menentukan tingkat keberhasilan di bawah kurva (AUC) dari kumpulan data pelatihan, dan tingkat yang dapat diprediksi dihitung dari AUC dari kumpulan data validasi. Proses validasi dari penelitian ini lebih lanjut menunjukkan tingkat akurasi peta kerawanan longsor untuk menghitung rasio data untuk validasi longsor yang masuk ke masing-masing kelas kerawanan. Secara umum diasumsikan bahwa sebagian besar longsor untuk validasi harus terjadi pada kelas tinggi hingga kerentanan yang lebih tinggi (H+VH) (Soma dan Kubota, 2017). Menurut Rasyid, dkk., (2016) Secara umum, kurva AUC ROC yang mewakili pengujian sangat baik, baik, dan tidak bernilai diplot pada grafik. Ini mengklasifikasikan akurasi tes diagnostik yaitu nilai berkisar 0,50 - 0,60 (gagal), 0,60 - 0,70 (buruk), 0,70 - 0,80 (cukup), 0,80 - 0,90 (baik), dan 0,90 - 1,00 (sangat baik).

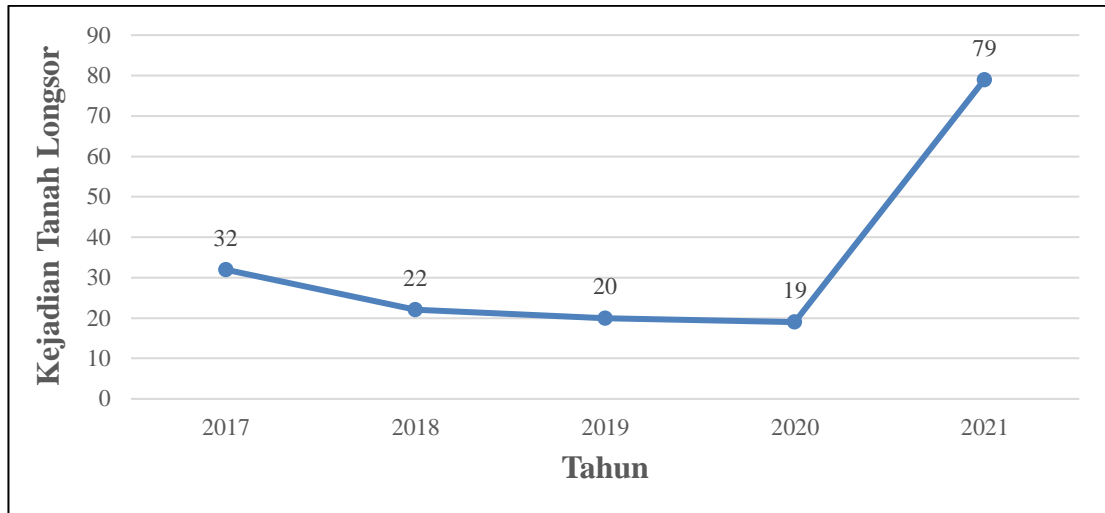
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Identifikasi dan Inventarisasi Tanah Longsor

Identifikasi tanah longsor dilakukan dengan menggunakan metode inventarisasi dan interpretasi daerah kejadian tanah longsor. Inventarisasi merupakan proses pengumpulan dan pendataan suatu informasi atau barang. Metode inventarisasi dalam penelitian ini dilakukan untuk mengumpulkan dan menunjukkan informasi sebaran kejadian tanah longsor pada daerah lokasi penelitian. Mengutip dari Yalcin, dkk., (2011) bahwa pemetaan inventarisasi tanah longsor ini dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam teknik berbeda-beda seperti survei lapangan, interpretasi foto udara atau citra satelit dan pencarian literatur terkait catatan sejarah tanah longsor yang berada di daerah studi penelitian. Setelah itu dilakukan uji validasi menggunakan *software* SPSS dan validasi lapangan di DAS Lisu.

Inventarisasi kejadian tanah longsor yang dilakukan pada *Citra Time Series* dari *Google Earth Pro* selama kurun waktu lima tahun yakni dari rentang tahun 2017 sampai tahun 2021. Inventarisasi ini menghasilkan sebanyak 172 jumlah kejadian tanah longsor yang diidentifikasi berdasarkan hasil dari interpretasi citra seperti bentuk arah jatuh tanah, kemiringan lereng, rona/warna tanah longsor, dan juga menurut Kanungo, dkk., (2006) dalam Soma dan Kubota (2017) interpretasi juga berdasarkan karakteristik spektral, bentuk, dan kontras.

Berdasarkan hasil inventarisasi pada 172 kejadian tanah longsor diketahui bahwa kejadian tanah longsor tersebar pada rentang lima tahun. Pada tahun 2017 sebanyak 32 kejadian (19%), tahun 2018 ada 22 kejadian (13%), tahun 2019 ada 20 kejadian (11%) (dengan kondisi citra yang banyak tertutupi awan), tahun 2020 ada 19 kejadian (11%) (dengan kondisi citra yang banyak tertutupi awan), dan tahun 2021 ada 79 kejadian (46%). Grafik sebaran kejadian tanah longsor selama lima tahun dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Sebaran Kejadian Tanah Longsor

Kejadian tanah longsor ini tersebar di seluruh DAS Lisu. Kejadian tanah longsor ini banyak terjadi di daerah yang ketinggiannya diatas 1000-1200 meter diatas permukaan laut (mdpl) dan tersebar pada kelerengan yang rata-rata curam diatas >25%. Kejadian tanah longsor ini tersebar di empat Kecamatan Tanete Rilau, Kecamatan Tanete Riaja, Kecamatan Barru, dan Kecamatan Pujananting atau terdapat pada 24 desa. Hasil dari inventarisasi ini lalu di ekstrak dengan format (kml.) kemudian di *import* atau dilakukan pemanggilan data kedalam *ArcGIS* untuk dilakukan analisis lanjutan. Kejadian tanah longsor tertinggi terjadi pada tahun 2021 sebesar 79 kejadian, ini dikarenakan pada saat dilakukan interpretasi melihat rona warna jatuh tanah longsor terlihat dengan jelas tanpa ada halangan dari awan yang menutupi citra. Kejadian tanah longsor tahun 2017, 2018, 2019, 2020 tidak sebanyak tahun 2021 dikarenakan citra *google earth* terhalang oleh awan. Adapun bentuk interpretasi (prediksi) pada saat inventarisasi di *google earth* dengan data validasi di lapangan (aktual) dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Hasil validasi *ground check* dapat dilihat pada Lampiran 1.



(a)

(b)

Gambar 4. Bentuk interpretasi kejadian tanah longsor di daerah hulu, (a) prediksi di *google earth*, dan (b) aktual di lapangan.



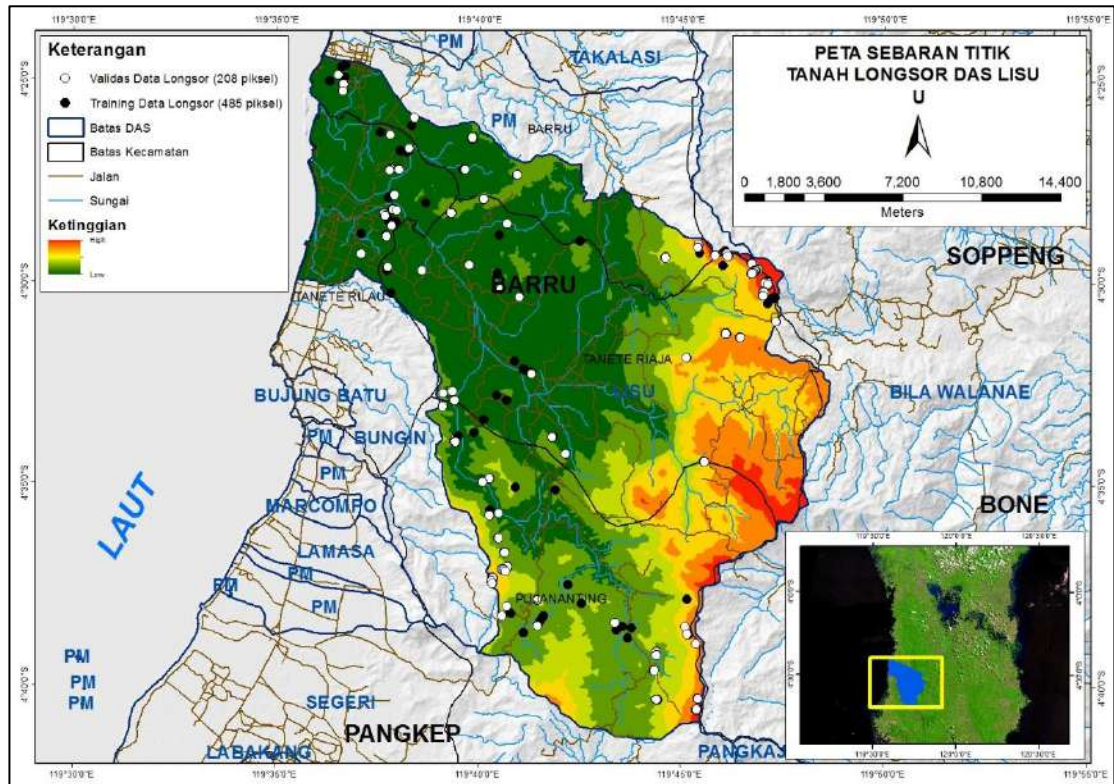
(a)

(b)

Gambar 5. Bentuk interpretasi kejadian tanah longsor di daerah hilir, (a) prediksi di *google earth*, dan (b) aktual di lapangan.

Data poligon kejadian tanah longsor yang di inventarisasi lalu di konversi ke dalam bentuk data raster untuk didapatkan jumlah piksel kejadian. Ada 693 piksel kejadian tanah longsor yang didapatkan. Kemudian data tersebut dibagi menjadi dua yang dilakukan oleh *Machine Learning* untuk menentukan tingkat kesuksesan model yang dihasilkan yakni data training 70% (sebanyak 485 piksel) dan validasi 30% (sebanyak 208 piksel) dari jumlah keseluruhan 3.885.404 piksel

DAS Lisu. Data-data tersebut dianalisis menggunakan *ArcGIS* untuk didapatkan nilai FR tiap masing-masing kelas faktor sebagai acuan untuk menentukan tingkat kerawanan tanah longsor. Peta sebaran tanah longsor Tahun 2017-2021 dapat dilihat pada Gambar 6.

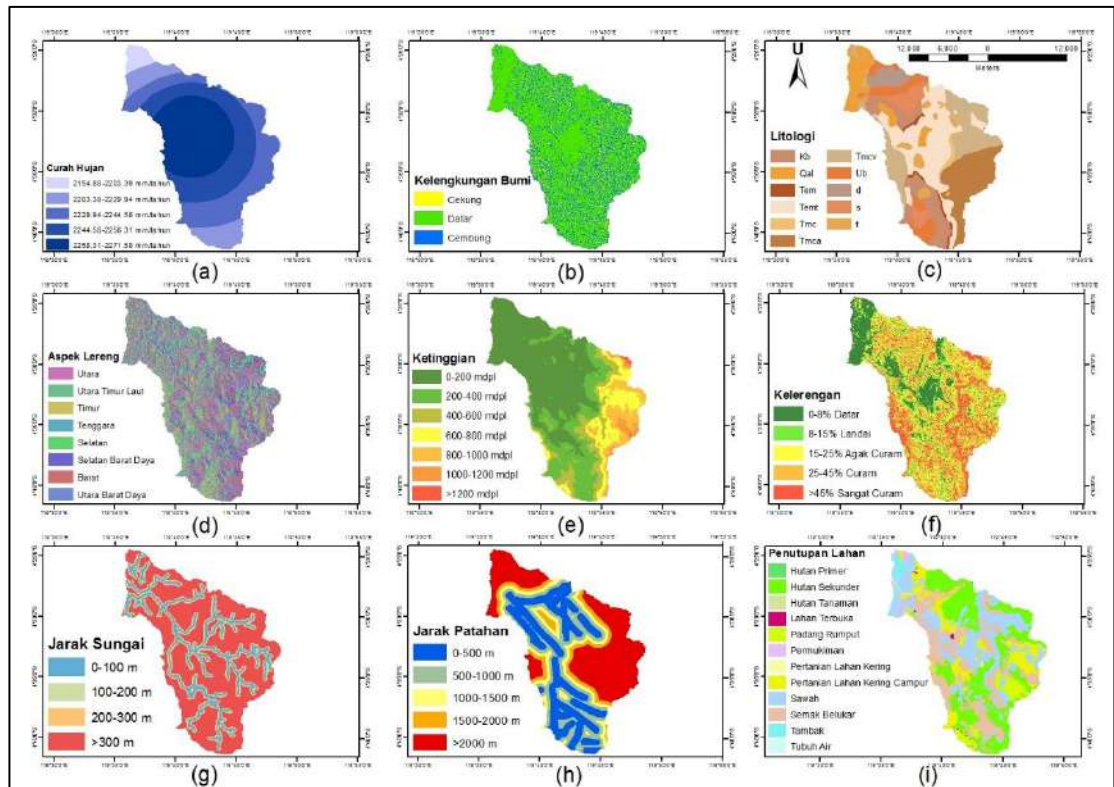


Gambar 6. Peta Sebaran Titik Kejadian Tanah Longsor

4.2. Faktor-Faktor Kerawanan Tanah Longsor

kerawanan tanah longsor yang dipilih untuk di analisis disesuaikan dengan studi literatur dan ketersediaan data yang ada dilapangan. Ada 9 faktor yang dijadikan parameter dalam menganalisis kerawanan tanah longsor yang terjadi. Faktor-faktor tersebut yaitu penutupan lahan, jarak patahan, curah hujan, jarak sungai, ketinggian, litologi, kelengkungan bumi, aspek lereng, dan kemiringan lereng. Data mentah dari faktor-faktor tersebut didapatkan dari berbagai sumber yang terpercaya. Data penutupan lahan didapatkan dari citra Landsat 8 tahun 2021 *path 114 row 63* yang di unduh di *USGS earth explorer*, data curah hujan didapatkan dari situs *Power Nasa*, data ketinggian, kemiringan lereng, aspek lereng, kelengkungan bumi didapatkan dari data DEMNAS, data jarak patahan dan litologi didapatkan dari ekstraksi peta geologi, data jarak sungai didapatkan dari analisis

GIS yaitu *Eucliden distance* dengan dasar data DEMNAS. Berikut gambar peta 9 faktor kejadian tanah longsor pada Gambar 7.



Gambar 7. Peta 9 Faktor Kejadian Tanah Longsor. (a) Curah Hujan, (b) Kelengkungan Bumi, (c) Litologi, (d) Aspek Lereng, (e) Ketinggian, (f) Kelerengan, (g) Jarak Sungai, (h) Jarak Patahan, (i) penutupan lahan.

4.3. Hasil Analisis Metode *Frequency Ratio*

Salah satu metode dalam menganalisis tingkat kerawanan tanah longsor yaitu metode *Frequency Ratio* (FR). Metode FR ini menghitung piksel yang ada pada kejadian tanah longsor (Pxcl) dan juga menghitung piksel kelas per faktor pengkondisi terjadinya tanah longsor (PnXL). Analisis inventarisasi longsor ini di konversi menjadi raster, dimana apabila piksel terjadi longsor diberikan nilai 1 dan apabila tidak terjadi longsor diberikan nilai 0. Begitu pula dengan masing-masing kelas faktor penyebab tanah longsor yang sebelumnya telah dijadikan raster (diberikan nilai 1 apabila terjadi, dan 0 apabila tidak terjadi). Kemudian data inventarisasi longsor di konversi menjadi dengan *tools raster to point* untuk dilakukan penggabungan dengan kelas-kelas faktor penyebab tanah longsor. Penggabungan antara *point* longsor dengan kelas-kelas faktor penyebab tanah longsor menggunakan *tools* di Arcgis yaitu *tools extract multi values to points*.

Hasil dari penggabungan antara *point* longsor dengan kelas faktor penyebab tanah longsor menghasilkan nilai probabilitas data FR yang dimana apabila jika rasio lebih besar dari 1, maka hubungan antara tanah longsor dengan faktor penyebabnya lebih tinggi, dan jika rasionya kurang dari 1, maka hubungan antara tanah longsor atau rentang faktornya lebih rendah. Rasio-rasio tersebut digunakan untuk menghitung indeks dan pemetaan kerentanan gerakan tanah longsor (Lee dan Lee 2006). Hasil analisis nilai FR dapat dilihat pada Tabel 2 dan pada Lampiran 18 berikut :

Tabel 2. Hasil Nilai *Frequency Ratio* Berdasarkan Masing-Masing Kelas Faktor

Parameter	Kelas	PxcL	% PxcL	PnXL	% PnXL	FR
Penutupan Lahan	Hutan Lahan Kering Primer	0	0,00	3947	0,10	0,00
	Hutan Lahan Kering Sekunder	244	50,31	1152463	29,66	1,70
	Hutan Tanaman	0	0,00	14225	0,37	0,00
	Semak Belukar	173	35,67	958837	24,68	1,45
	Permukiman	0	0,00	71081	1,83	0,00
	Lahan Terbuka	5	1,03	9424	0,24	4,25
	Padang Rumput	0	0,00	179297	4,61	0,00
	Pertanian Lahan Kering	0	0,00	4005	0,10	0,00
	Pertanian Lahan Kering Campur	54	11,13	447977	11,53	0,97
	Sawah	9	1,86	948109	24,40	0,08
	Tambak	0	0,00	79986	2,06	0,00
	Tubuh Air	0	0,00	16053	0,41	0,00
		485	100	3885404	100	
Jarak Patahan	0 - 500 m	91	18,76	1088925	28,03	0,67
	500 - 1000 m	68	14,02	691924	17,81	0,79
	1000 - 1500 m	81	16,70	399719	10,29	1,62
	1500 - 2000 m	40	8,25	291112	7,49	1,10
	>2000 m	205	42,27	1413724	36,39	1,16
		485	100	3885404	100	
Curah Hujan (mm/tahun)	2.154,88 - 2.203,39 mm	12	2,47	125091	3,22	0,77
	2.203,39 - 2.229,94 mm	100	20,62	448847	11,55	1,78
	2.229,94 - 2.244,58 mm	188	38,76	1077491	27,73	1,40
	2.244,58 - 2.258,31 mm	95	19,59	1080297	27,80	0,70
	2.258,31 - 2.271,58 mm	90	18,56	1153678	29,69	0,62
		485	100	3885404	100	
Jarak Sungai	0 - 100 m	32	6,60	631147	16,24	0,41
	100 - 200 m	34	7,01	321599	8,28	0,85
	200 - 300 m	31	6,39	357534	9,20	0,69
	>300 m	388	80,00	2575124	66,28	1,21
		485	100	3885404	100	

Tabel 2 (Lanjutan).

Paramter	Kelas	PxcL	% PxcL	PnXL	% PnXL	FR
Ketinggian	0 - 200 mdpl	171	35,26	1783487	45,90	0,77
	200 - 400 mdpl	89	18,35	880565	22,66	0,81
	400 - 600 mdpl	34	7,01	396295	10,20	0,69
	600 - 800 mdpl	42	8,66	428933	11,04	0,78
	800 - 1000 mdpl	73	15,05	310373	7,99	1,88
	1000 - 1200 mdpl	75	15,46	76220	1,96	7,88
	>1200 mdpl	1	0,21	9531	0,25	0,84
		485	100	3885404	100	
Litologi	Tmcv	250	25,77	685015	17,63	2,92
	Temt	41	4,23	905451	23,30	0,36
	Qal	14	1,44	355821	9,16	0,32
	Ub	42	4,33	271678	6,99	1,24
	d	36	3,71	155958	4,01	1,85
	s	9	0,93	221426	5,70	0,33
	t	16	1,65	119376	3,07	1,07
	Kb	32	3,30	467838	12,04	0,55
	Tem	7	0,72	59687	1,54	0,94
	Tmc	0	0,00	43939	1,13	0,00
	Tmca	38	3,92	599215	15,42	0,51
		485	100	3885404	100	
Kurvatur	Cekung	75	15,46	246658	6,35	2,44
	Datar	285	58,76	2822245	72,64	0,81
	Cembung	125	25,77	816501	21,01	1,23
		485	100	3885404	100	
Aspek Lereng	Utara	59	12,16	480993	12,38	0,98
	Utara Timur Laut	52	10,72	477391	12,29	0,87
	Timur	35	7,22	413469	10,64	0,68
	Tenggara	62	12,78	362216	9,32	1,37
	Selatan	78	16,08	412599	10,62	1,51
	Selatan Barat Daya	103	21,24	579203	14,91	1,42
	Barat	63	12,99	630091	16,22	0,80
	Utara Barat Daya	33	6,80	529442	13,63	0,50
		485	100	3885404	100	
Kemiringan Lereng	0-8% Datar	3	0,62	709656	18,26	0,03
	8-15% Landai	4	0,82	504358	12,98	0,06
	15-25% Agak Curam	47	9,69	799443	20,58	0,47
	25-45% Curam	175	36,08	1209265	31,12	1,16
	>45% Sangat Curam	256	52,78	662682	17,06	3,09
		485	100	3885404	100	

Sumber : Hasil Analisis SIG

Hasil Tabel 2 yang telah dilakukan analisis yakni ada berbagai macam nilai FR yang di dapatkan dari masing-masing kelas faktor. Nilai FR yang lebih atau diatas rasio 1 mengindikasikan bahwa kelas faktor tersebut saling berkorelasi atau mempengaruhi terjadinya tanah longsor. Apabila nilai yang ditunjukkan tidak lebih atau dibawah dari nilai 1 tersebut menandakan kelas faktor tidaklah sangat berpengaruh untuk terjadinya tanah longsor. Sesuai dengan pendapat Rasyid, dkk., (2016) bahwa nilai rasio FR menunjukkan adanya korelasi antara longsor dengan masing-masing kelas faktor penyebab longsor dalam format numerik. Adapun nilai FR tertinggi pada masing-masing kelas tiap faktor yaitu pada faktor penutupan lahan dengan kelas lahan terbuka memiliki nilai FR 4,25, faktor jarak patahan pada kelas 1.000-1.500 m memiliki nilai FR 1,62, faktor curah hujan pada kelas 2.203,39-2.229,94 mm/tahun memiliki nilai FR 1,78, faktor jarak sungai pada kelas >300 m memiliki nilai FR 1,21, faktor ketinggian pada kelas 1.000-1.200 mdpl memiliki nilai FR 7,88, faktor litologi pada kelas tmev atau formasi anggota batuan gunungapi camba memiliki nilai FR 2,92, faktor kelengkungan bumi pada kelas cekung memiliki nilai FR 2,44, faktor aspek lereng pada kelas selatan memiliki nilai FR 1,51, faktor kemiringan lereng pada kelas >45% sangat curam memiliki nilai FR 3,09.

4.3.1. Penutupan Lahan

Analisis penutupan lahan dengan melakukan digitasi citra landsat 8 *path* 114 *row* 63 tahun 2021. Petunjuk teknis dalam digitasi ini berpedoman pada Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2020. Penafsiran citra dalam digitasi untuk *update* data penutupan lahan di DAS Lisu menghasilkan 12 klasifikasi penutupan lahan. Klasifikasi penutupan lahan tersebut ditampilkan dalam Tabel 3 :

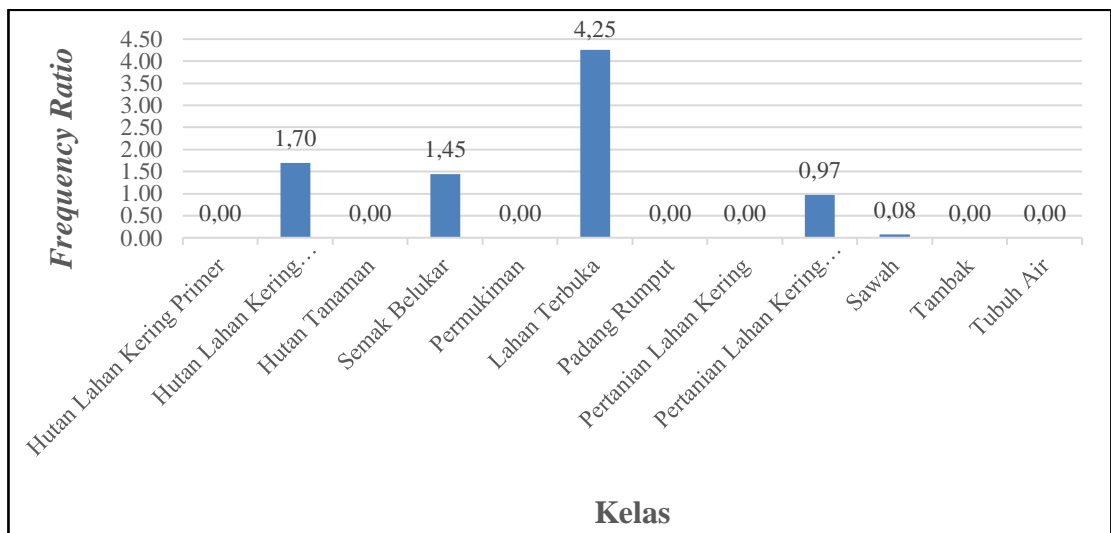
Tabel 3. Luas Klasifikasi Penutupan Lahan

No.	Penutupan Lahan	Luas (ha)	Persentase (%)	Titik (n)
1	Hutan Lahan Kering Primer	39,47	0,10	1
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	11.524,77	29,66	57
3	Hutan Tanaman	142,44	0,36	1
4	Semak Belukar	9.589,15	24,67	50
5	Permukiman	710,45	1,83	5
6	Lahan Terbuka	94,40	0,24	1

Tabel 3 (Lanjutan).

7	Padang Rumput	1.792,67	4,62	12
8	Pertanian Lahan Kering	39,86	0,10	1
9	Pertanian Lahan Kering Campur	4.478,76	11,52	28
10	Sawah	9.481,87	24,40	50
11	Tambak	800,33	2,06	5
12	Tubuh Air	160,33	0,41	1
Jumlah		3.8854,49	100	211

Validasi lapangan dilakukan untuk menyamakan prediksi dan aktual penutupan lahan. Ada 211 titik yang telah dilakukan uji validasi di lapangan, dengan melihat luasan tutupan lahannya dan aksesibilitas jalan di lapangan. Hasil analisis data dari 211 titik diketahui ada 198 titik yang secara aktual sesuai dengan hasil prediksi. Adapun sisa dari 13 titik telah mengalami perubahan, seperti yang terjadi pada hutan lahan kering primer yang berubah menjadi hutan lahan kering sekunder. Data klasifikasi penutupan lahan kemudian di uji akurasi dengan bantuan *confusion matrix* dari hasil nilai *overall accuracy* sebesar 93,50%. Hasil analisis tutupan lahan menandakan bahwasanya prediksi dan aktual dilapangan tidak jauh berbeda. Hasil validasi *ground check* lapangan untuk penutupan lahan dapat dilihat pada Lampiran 2 dan nilai validasi data dapat dilihat pada Lampiran 3 yaitu validasi data penutupan lahan. Klasifikasi 12 kelas penutupan lahan ini selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui tingkat probabilitas tanah longsor menghasilkan nilai FR pada histogram Gambar 8.



Gambar 8. Histogram Nilai FR pada Faktor Penutupan Lahan

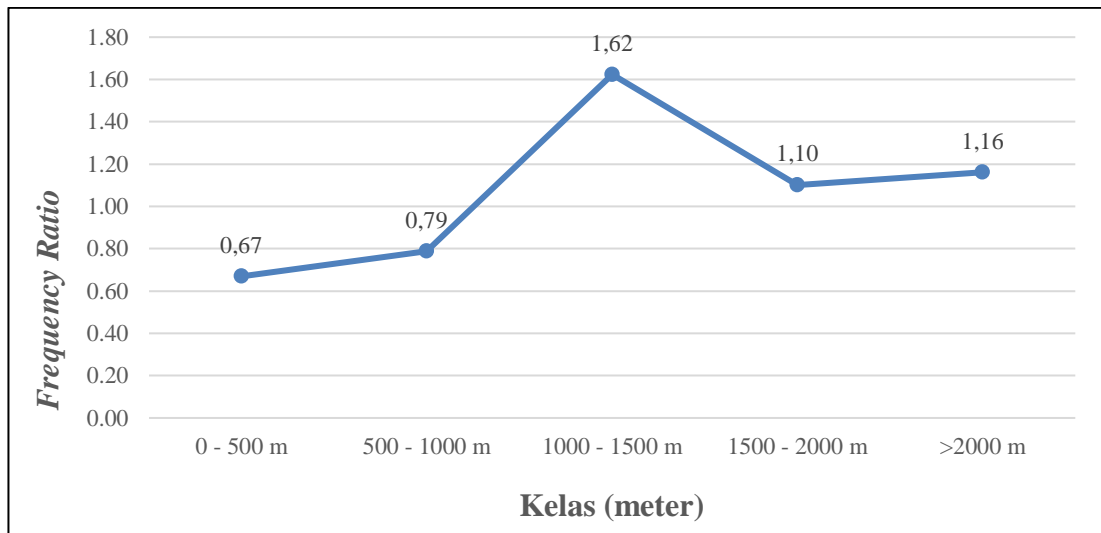
Hasil analisis dari faktor penutupan lahan didapatkan bahwa lahan terbuka menjadi kelas faktor yang paling berpengaruh terjadinya longsor karena memiliki nilai FR yang lebih dari 1 yaitu sebesar 4,25, diikuti oleh hutan lahan kering sekunder sebesar 1,70, dan semak belukar yang mempunyai nilai FR 1,45. Selain itu kelas penutupan lahan lainnya yang dibawah rasio kurang dari 1 tidak berperan besar dalam kejadian tanah longsor. Lahan terbuka dengan luas sebesar 94,40 ha atau 0,2% menjadi daerah dengan probabilitas longsor tinggi, karena tidak adanya tumbuhan pengikat yang dapat mengikat tanah terutama apabila lahan terbuka tersebut berada di daerah yang kelerengannya cukup curam dan disertai hujan. Sejalan dengan pendapat Fadilah, dkk., (2019) bahwa hal ini menyebabkan hilangnya tanaman penutup tanah sebagai penghambat air hujan terlebih di daerah hulu memiliki tingkat curah hujan yang tinggi sehingga pengaruhnya terhadap terjadinya tanah longsor juga semakin besar. Selain itu lahan terbuka juga berasal dari aktivitas manusia yang juga berpengaruh terhadap longsor seperti pola tanam yang tidak mendukung penguatan lereng, beban tambahan seperti kontruksi bangunan, penggundulan hutan, pembukaan lahan hutan, serta daerah yang dilalui struktur patahan/sesar yang umumnya terdapat pemukiman (Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2005).

Hutan lahan kering sekunder juga menjadi salah satu pemicu terjadinya tanah longsor dikarenakan nilai FR yang dihasilkan lebih dari 1 yakni 1,70. Hutan sekunder banyak tersebar di daerah dengan kemiringan lereng diatas 25% yang menjadi pemicu terjadinya tanah longsor. Vegetasi yang mendominasi ini diantara lain pohon ketapang, pohon mangga (*Mangifera indica*), pohon jati putih (*Gmelina arborea*), pohon jabon (*Neolamarckia cadamba*), dll. Meskipun hutan sekunder didominasi oleh vegetasi tetapi tidak menutup kemungkinan faktor kemiringan lereng berperan dalam terjadinya tanah longsor pada daerah hutan.

Selanjutnya semak belukar memiliki nilai FR yang lebih dari 1 juga menandakan bahwa dapat berpotensi tinggi untuk menyebabkan tanah longsor. Menurut Makkasau, dkk., (2018) penutupan lahan semak belukar dapat meningkatkan potensi terjadinya longsor, karena semak belukar pada umumnya tidak memiliki sistem perakaran kuat dan dalam yang mampu mengikat agregat tanah terutama bila terjadi hujan lebat dan cukup lama. Peta penutupan lahan dapat dilihat pada Lampiran 6.

4.3.2. Jarak Patahan (Sesar)

Jarak patahan digunakan sebagai perbandingan jarak atau patahan dengan tingkat pengaruh terhadap longsor (Soma dan Kubota, 2017). Ada lima kelas yang diklasifikasikan dari jarak patahan ini mulai dari 0-500 m, 500-1.000 m, 1.000-1.500 m hingga >2.000 m. Analisis jarak patahan dengan melakukan tumpang tindih antara peta geologi sesar skala 1:250.000 tahun 1995 dengan batas DAS Lisu, lalu menggunakan *tools euclidian distance* di ArcGIS untuk menghasilkan jarak patahan tersebut. Hasil analisis nilai FR dapat dilihat pada grafik Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Nilai FR pada Faktor Jarak Patahan (Sesar)

Nilai FR tertinggi terdapat pada kelas 1.000-1.500 meter dengan FR 1,62, diikuti oleh jarak >2.000 meter dengan nilai FR 1,16, lalu pada jarak 1.500-2.000 meter dengan nilai FR 1,10. Nilai rasio dibawah 1 yang probabilitas longsor nya kecil ada pada jarak 0-500 meter dengan FR 0,67, dan pada jarak 500-1.000 meter dengan FR 0,79. Kelas dengan FR tertinggi pada jarak 1.000-1.500 meter yang memiliki jumlah piksel kejadian tanah longsor 81 piksel dan piksel kelas 399.719 piksel.

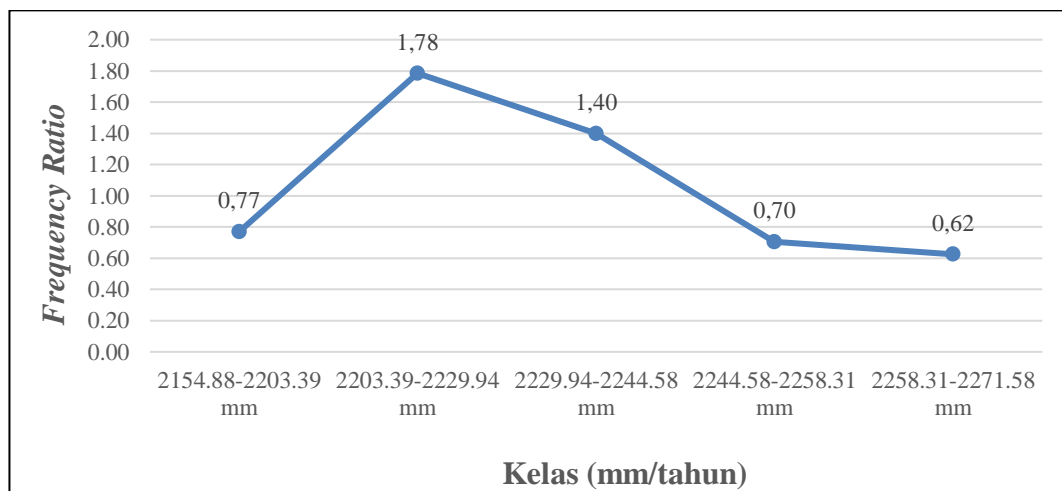
Jarak dari patahan tidak memengaruhi tinggi rendahnya nilai FR kejadian tanah longsor, ini berbanding terbalik dengan hasil penelitian dari Fadilah, dkk., (2019) bahwa semakin dekat jarak ke patahan, maka kemungkinan terjadinya tanah longsor akan meningkat, terlebih jika terdapat patahan aktif dan saling bergesekan yang bisa menyebabkan patahan semakin terbuka dikarenakan menghilangnya kekuatan tanah sehingga tingkat terjadinya tanah longsor semakin meningkat. Pada

DAS Lisu dengan kondisi lereng yang termasuk kategori curam diantara 25%-45% pada jarak 1000-1500 meter yang menyebabkan berpotensi terjadinya kejadian tanah longsor sehingga nilai FR pun meningkat meski tidak berada didekat jarak dari patahan. Peta jarak patahan dapat dilihat pada Lampiran 7.

4.3.3. Curah Hujan

Faktor pemicu terjadinya tanah longsor paling signifikan yaitu curah hujan. Tingginya intensitas curah hujan yang terjadi secara terus menerus data menyebabkan berbagai macam bencana, salah satunya longsor. Data curah hujan yang didapatkan pada *Global Weather* di DAS Lisu ada tiga *point* stasiun curah hujan yaitu p-421197, p-451197, p-481197, selama kurun waktu lima tahun dari tahun 2017-2021. Setiap stasiun memiliki intensitas curah hujan yang berbeda-beda. Data curah hujan per-stasiun dapat dilihat pada Lampiran 17.

Pada analisis data curah hujan ini menggunakan metode *isohyet* karena bentuk topografi pada DAS Lisu tidaklah merata dan bervariasi, sehingga metode *isohyet* cocok dengan kondisi lapangan tersebut. Mengutip dari jurnal Nurhijriah, dkk., (2022) pada metode *isohyet* dipilih karena merupakan metode perhitungan rata-rata tingkat curah hujan yang paling akurat yang memperhitungkan secara aktual pengaruh setiap pos penakar hujan. Hasil analisis nilai FR pada faktor curah hujan dapat dilihat pada grafik Gambar 10.



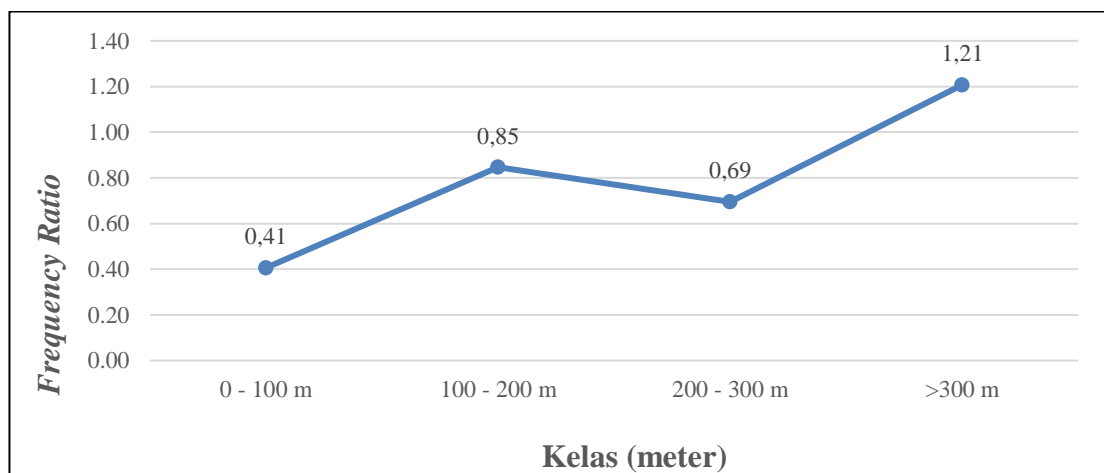
Gambar 10. Grafik Nilai FR pada Faktor Curah Hujan

Dari hasil analisis data FR yang didapatkan bahwa ada lima kelas yang telah dilakukan analisis. Curah hujan yang berkisar antara 2.203,39-2.229,94 mm/tahun

memiliki nilai FR tertinggi yakni sebesar 1,78, diikuti kelas 2.229,94-2.244,58 mm/tahun yang juga memiliki nilai FR yang lebih dari 1,0 yakni 1,40, dan kelas lain hanya di bawah 1,0 dan paling rendah ada pada kelas 2.258,31-2.271,58 mm/tahun yaitu FR sebesar 0,62. Curah hujan kelas 2.203,39-2.229,94 mm/tahun memiliki piksel kejadian tanah longsor 100 kejadian dan piksel kelas sebanyak 448.847 piksel. Curah hujan pada kelas dua dan tiga menunjukkan bahwa probabilitas terjadinya tanah longsor itu besar karena didukung oleh faktor lainnya. Pada kelas ini didominasi oleh kelerengan yang tergolong curam sekitar 25-45% dan penutupan lahan yang didominasi oleh hutan sekunder dan semak belukar. Menurut pendapat dari Zaman (2021) yakni curah hujan yang sedang hingga tinggi dan berlangsung lama dapat meningkatkan penjenjuran air tanah pada lereng sehingga sangat berperan dalam memicu terjadinya gerakan massa tanah dan/atau batuan. Meskipun curah hujan tinggi tetapi tidak rentan terjadinya longsor, dikarenakan penutupan lahan DAS Lisu didominasi oleh hutan lahan kering sekunder yang mampu menyerap air secara besar. Peta curah hujan DAS Lisu dapat dilihat pada Lampiran 8.

4.3.4. Jarak Sungai

Jarak dari sungai adalah salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya tanah longsor. Data jarak dari sungai didapatkan dari analisis di *ArcGIS* menggunakan *tools euclidian distance* dengan data mentahnya DEMNAS. Ada 4 empat klasifikasi kelas yang telah dibuat yakni 0-100 meter, 100-200 meter, 200-300 meter, dan >300 meter. Hasil analisis FR jarak dari sungai dapat dilihat pada grafik Gambar 11.

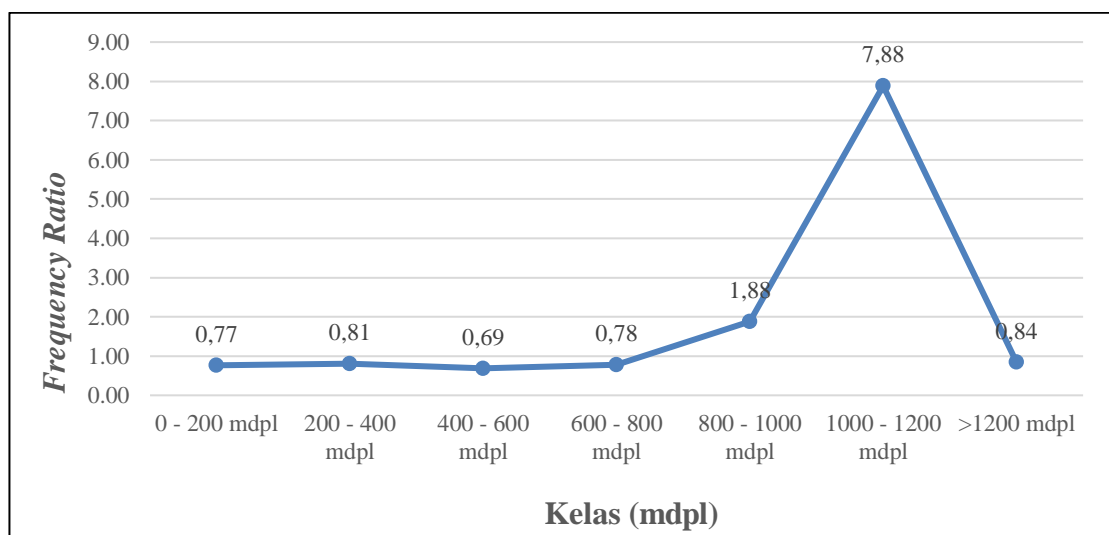


Gambar 11. Grafik Nilai FR pada Faktor Jarak Sungai

Grafik diatas menunjukkan bahwa probabilitas terjadinya tanah longsor berada pada kelas empat yaitu jarak dari sungai yang sejauh lebih dari 300 meter yakni menghasilkan nilai FR 1,21. Kelas dengan FR yang paling rendah ada pada 0-100 m jarak dari sungai dengan FR 0,41. Kejadian longsor pada kelas >300 meter memiliki 388 piksel kejadian tanah longsor dan sebanyak 2.575.124 piksel untuk kelas tersebut. Menurut Soma dan Kubota (2017) bahwa jarak ke sungai di bawah 100 meter memiliki rasio frekuensi yang kurang dari 1,0 ini mengindikasikan bahwa semakin dekat dengan jarak ke sungai maka kemungkinan longsor meningkat. Meski hal demikian berdasarkan hasil interpretasi di *google earth* ada beberapa kejadian tanah longsor terjadi di dekat sungai, namun banyak juga kejadian tanah longsor yang terjadi jauh dari sungai. Ini bisa saja dikarenakan pengaruh kelerengan yang jauh dari sungai rata-rata kategori curam di atas 25%, sehingga lebih rentan terhadap kejadian tanah longsor. Peta jarak sungai dapat di lihat pada Lampiran 9.

4.3.5. Ketinggian (*Elevation*)

Data ketinggian di analisis dari data DEMNAS, pada menu *tools* di Arcgis. Klasifikasi ketinggian dibagi menjadi tujuh kelas dengan interval 200 meter. Mulai dari 0-200 mdpl, 200-400 mdpl, 400-600 mdpl, 600-800 mdpl, 800-1.000 mdpl, 1.000-1200 mdpl, >1200 mdpl. Ketinggian suatu wilayah dapat mempengaruhi probabilitas terjadinya tanah longsor. FR ketinggian dapat dilihat pada grafik Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Nilai FR pada Faktor Ketinggian

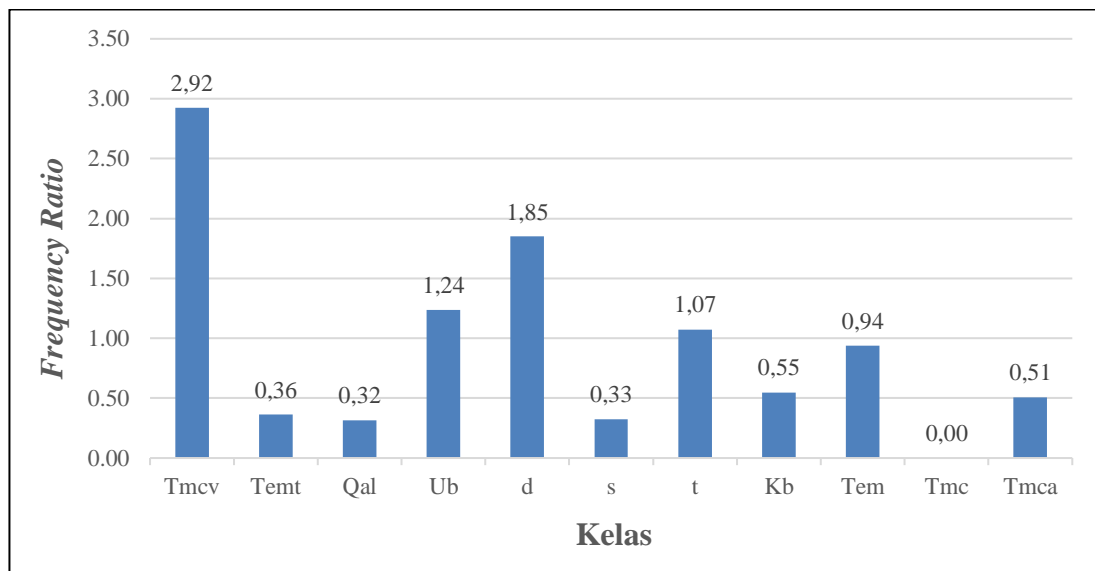
Hasil analisis *FR* pada faktor ketinggian kelas 1.000-1.200 mdpl dengan rasio lebih dari 1,0 yakni 7,88. Jumlah piksel kejadian tanah longsor ada 75 piksel dan piksel kelas sebesar 76.220 piksel. Nilai *FR* ini menandakan bahwa pada ketinggian sekitar 1.000 hingga 1.200 mdpl rawan terjadinya tanah longsor. Kelas faktor selanjutnya dengan ketinggian 800-1.000 mdpl dengan rasio 1,88 rentan terjadi tanah longsor. Sedangkan nilai rasio *FR* dibawah 1 menandakan probabilitas tanah longsor tidak terlalu berpengaruh. Kelas 1.000-1.200 mdpl memiliki nilai *FR* tinggi dikarenakan distribusi longsor pada ketinggian ini berada di daerah yang memiliki kelerengan yang sangat curam sebesar >45%. Ketinggian dan kelerengan saling korelasi terkait probabilitas longsor. Mengutip dari Rozos, dkk., (2008) mengemukakan bahwa ketinggian tidak berkontribusi langsung pada keruntuhan lereng, tetapi dalam analisis data menjadi faktor yang mempengaruhi sistem dan dengan demikian faktor ketinggian tidak dapat dikecualikan.

Pada kelas >1200 mdpl nilai *FR* 0,84 terjadi penurunan yang sangat drastis. Hal ini dikarenakan piksel kejadian tanah longsor hanya terdapat 1 piksel dengan jumlah kelas piksel 9.531 piksel. Ini menandakan bahwa pada ketinggian tersebut kejadian tanah longsor hanya sedikit dan kecil, dan dapat dilihat juga pada peta ketinggian bahwa luas dari ketinggian >1200 mdpl hanya sebesar 0,25% dari total keseluruhan DAS Lisu atau sekitar 95,42 ha dari 38.854,49 ha. Peta ketinggian DAS Lisu dapat dilihat pada Lampiran 10.

4.3.6. Litologi

Faktor litologi menjadi salah satu parameter dalam memicu terjadinya tanah longsor. Litologi merupakan data atau parameter primer untuk analisis peta kerawanan tanah longsor. Litologi merupakan variabel standar yang mengendalikan bahaya longsor. Hal ini berkaitan dengan kekuatan material, karena komposisi dan struktur litologi bervariasi untuk jenis batuan yang berbeda (Kanungo, dkk., 2006; Soma dan Kubota, 2017). Pengaruh formasi batuan tertentu yang rawan terjadinya tanah longsor menyebabkan rasio nilai *FR* lebih dari 1 menandakan probabilitas longsor tinggi. Data litologi DAS Lisu didapatkan dari Data Puslitbang Geologi skala 1:250.000 tahun 1995, yang kemudian di *overlay* dengan batas dari DAS Lisu. Ada 11 kelas batuan yang terdapat di DAS Lisu dengan formasi anggota batuan gunungapi camba (Tm_{cv}), formasi tonasa (Tem_t),

Alluvium (Qal), ultrabasa tak Bernama (Ub), suit dondo (d), basal (s), trakit (t), formasi balangbaru (Kb), formasi malawa (Tem), formasi camba (Tmc), tefrit leusit (Tmca). DAS Lisu didominasi oleh batuan formasi tonasa (temt) dengan luas 9.054,51 ha atau sekitar 23% dari total luas DAS Lisu. Hasil analisis FR dapat dilihat pada histogram Gambar 13.



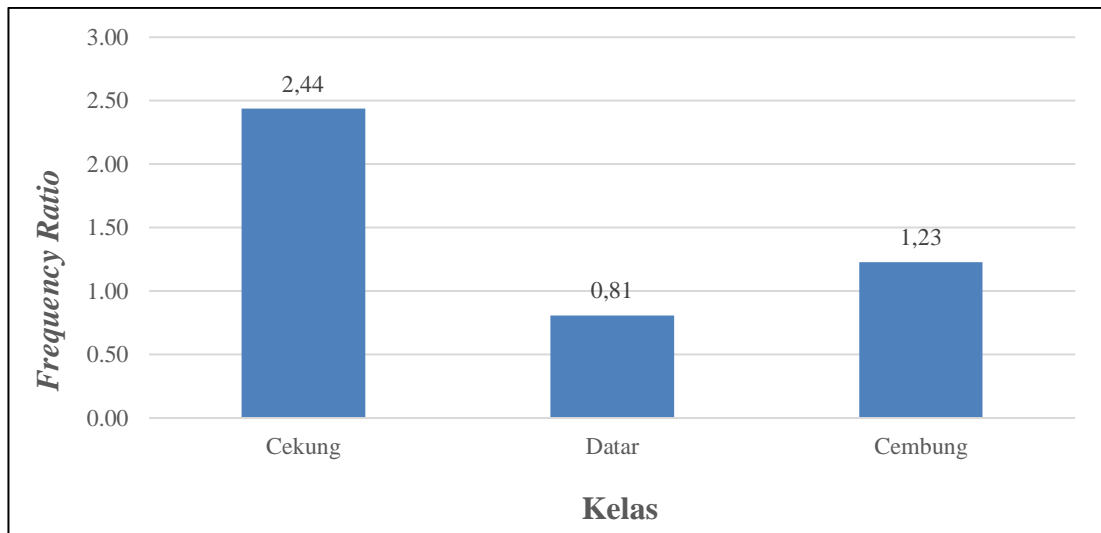
Gambar 13. Histogram Nilai FR pada Faktor Litologi

Formasi anggota batuan gunungapi camba (Tmcv) memiliki nilai FR lebih dari 1 yakni 2,92 yang memiliki piksel kejadian tanah longsor 250 piksel dan kelas piksel 685.015 piksel. Ini menjadikan probabilitasnya tanah longsor terjadi, dikarenakan batuan ini mendominasi di DAS Lisu ke-dua terbesar dengan luas 6.850,2 ha atau sekitar 17,6% dari luas DAS Lisu 3.8752,36 ha. Menurut 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. Hal ini juga didukung dengan curah hujan yang tergolong tinggi dan kelerengan dapat meningkatkan probabilitas kejadian tanah longsor. Peta litologi DAS Lisu dapat dilihat pada Lampiran 11.

4.3.7. Kelengkungan Bumi (*Curvature*)

Kelengkungan bumi atau kurvatur merupakan faktor morfologi lereng yang terdiri dari cekung (*concave*) bernilai negatif, datar (*planar*) bernilai nol, cembung (*convex*) bernilai positif. Basis data spasial dari Analisis kurvatur berasal dari

DEMNAS yang diolah di ArcGIS dengan *tools spatial analysis tools > surface > curvature*. Hasil analisis nilai FR dapat dilihat pada histogram Gambar 14.



Gambar 14. Histogram Nilai FR pada Faktor Kelengkungan Bumi

Berdasarkan histogram dari hasil analisis FR diatas menunjukkan bahwa nilai FR paling berpengaruh pada kelas kurvatur yakni 2,44 pada kelas cekung, diikuti kelas cembung sebesar 1,23, dan kejadian tanah longsor yang rendah ada pada kelas datar sebesar 0,81. Pixels kejadian tanah longsor pada kelas cekung sebanyak 75 pixels, dari luasan kelas cekung sebanyak 246.658 pixels. Luasan pixels yang kecil dari kelas luasan pixels lainnya ini menyebabkan nilai FR tinggi dan menjadikan kelas cekung mempunyai probabilitas kejadian tanah longsor yang besar.

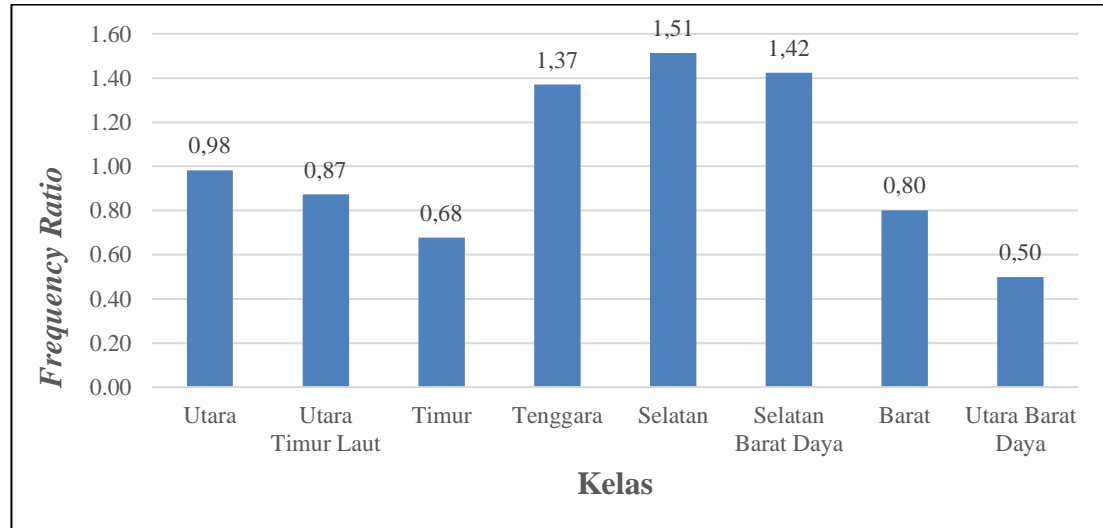
Nilai kelengkungan diberikan untuk mencari daerah aliran divergen dan konvergen di lapangan serta kelengkungan lereng yang sejajar dengan garis kontur. Halil, dkk., (2011) menyatakan bahwa daerah aliran konvergen umumnya menunjukkan risiko erosi dan potensi gerakan yang lebih tinggi, sedangkan daerah aliran divergen menunjukkan risiko erosi dan potensi gerakan yang lebih rendah.

Lereng bukit cekung ini biasanya memiliki kadar air tanah yang tinggi dan menerima lebih banyak permukaan limpasan (Maheswari dan Sangeeta, 2018). Pada hal ini daya dukung seperti gravitasi, tekanan pori tanah, berat material dapat menyebabkan pergerakan massa tanah (Grizelda, 2020). Oleh karena itu, bukanlah suatu kebetulan bahwa sebagian besar longsor terjadi di daerah cekung. Pada kelas cembung menghasilkan nilai FR lebih dari 1 yang terjadinya tanah longsor

juga tergolong besar. Pada daerah datar dengan nilai FR 0,81, dapat terjadi tanah longsor dengan jenis longsor translasi. Salah satu jenis longsor yang terjadi pada bidang datar yaitu longsor translasi dimana longsor ini merupakan pergerakan massa tanah dan batuan pada bidang tergelincir berbentuk rata atau menggelombang landai (Nandi, 2007). Peta kelengkungan bumi dapat dilihat pada Lampiran 12.

4.3.8. Aspek Lereng

Aspek juga dianggap sebagai faktor penting dalam menyusun peta kerentanan longsor (Galli, dkk., 2008; Yalcin, dkk., 2011). Secara fisik, aspek berkaitan dengan parameter seperti diskontinuitas yang dapat mengontrol pembentukan longsor, curah hujan, dampak angin dan paparan sinar matahari (Komac, 2006; Yalcin, dkk., 2011). Aspek lereng di analisis dari data DEMNAS dengan *tools spatial analysis > Surface > aspect*. Aspek lereng menghasilkan 8 kelas yaitu utara, utara timur laut, timur, tenggara, selatan, selatan barat daya, barat, utara barat daya. Hasil analisis nilai FR dapat dilihat pada histogram Gambar 15.



Gambar 15. Histogram Nilai FR pada Faktor Aspek Lereng

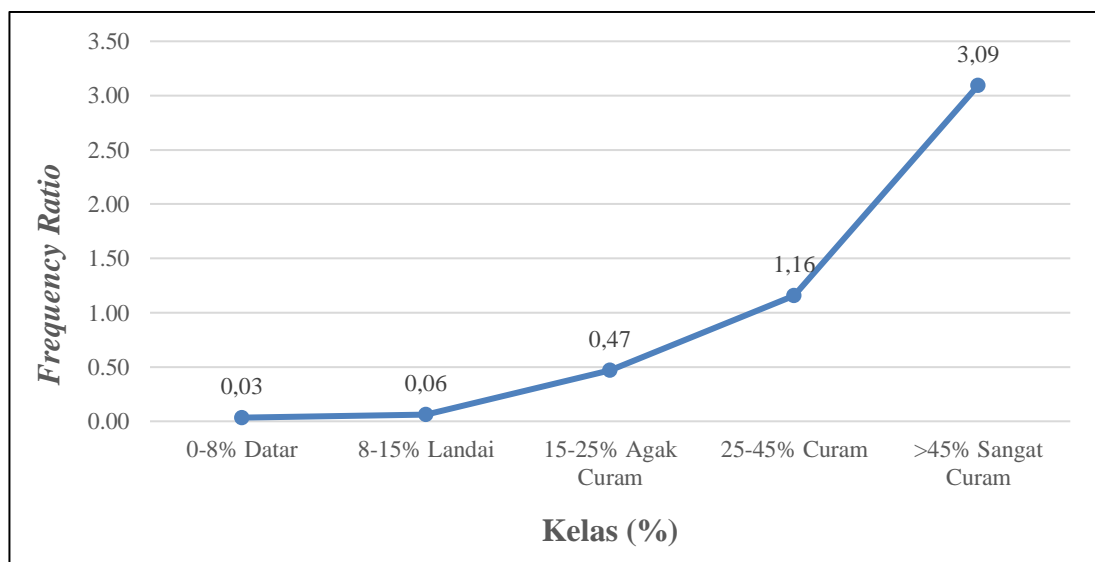
Aspek lereng yang menjadi probabilitas besar terjadinya longsor yaitu yang mengarah ke selatan dengan rasio 1,51 disusul arah selatan barat daya 1,42 dan tenggara 1,37. Kejadian longsor banyak terjadi pada daerah arah lereng selatan karena arah jatuh longsor mengikuti arah dari sungai. Menurut Ercanoğlu, dkk., (2004) dalam Halil, dkk., (2011) menyatakan bahwa tidak ada keputusan umum

yang dapat diberikan mengenai hubungan atau kaitan antara aspek dengan longsor, namun itu ditekankan dalam banyak makalah bahwa aspek tersebut merupakan salah satu faktor penting untuk menghasilkan peta kerentanan longsor. Peta aspek lereng dapat dilihat pada Lampiran 13.

4.3.9. Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng menjadi salah satu faktor yang mendukung probabilitas terjadinya tanah longsor yang paling besar. Menurut Shahabi dan Hashim (2015) lereng yang terjal, curah hujan yang tinggi, dan tanah yang tidak stabil merupakan faktor utama terjadinya tanah longsor pada wilayah Asia Tenggara yang memiliki iklim tropis, terutama wilayah yang berada di pegunungan dan lembah. Melihat kondisi topografi dari DAS Lisu tergolong kedalam kelas agak curam hingga sangat curam sekitar >25% dengan persentase sekitar 48% dari total luas DAS Lisu.

Analisis kemiringan lereng ini menggunakan data DEMNAS dengan resolusi 8x8 meter sebagai sumber analisis kemiringan lereng yang lalu di analisis di ArcGIS pada *tools spatial analysis tools > surface > slope* dan menghasilkan lima kelas kemiringan lereng datar, landai, agak curam, curam, dan sangat curam. Hasil analisis nilai FR dapat dilihat pada grafik Gambar 16.



Gambar 16. Grafik nilai FR pada Faktor Kemiringan Lereng

Pada grafik dari hasil analisis FR dapat dilihat bahwa semakin tinggi kemiringan lereng maka nilai FR yang dihasilkanpun meningkat. Pada kelas >45% yaitu tergolong sangat curam menghasilkan rasio FR tinggi lebih dari 1 yakni 3,09,

dan mempunyai nilai piksel kejadian tanah longsor sebesar 256 piksel dengan kelas piksel 662.682 piksel. Pada kelas ini juga memiliki luas sekitar 6.626,82 ha atau sekitar 17% dari total luas DAS Lisu. Kelerengan sangat curam pada DAS Lisu didominasi oleh hutan lahan kering sekunder dan semak belukar yang menjadi faktor lain mendukung probabilitas tanah longsor terjadi

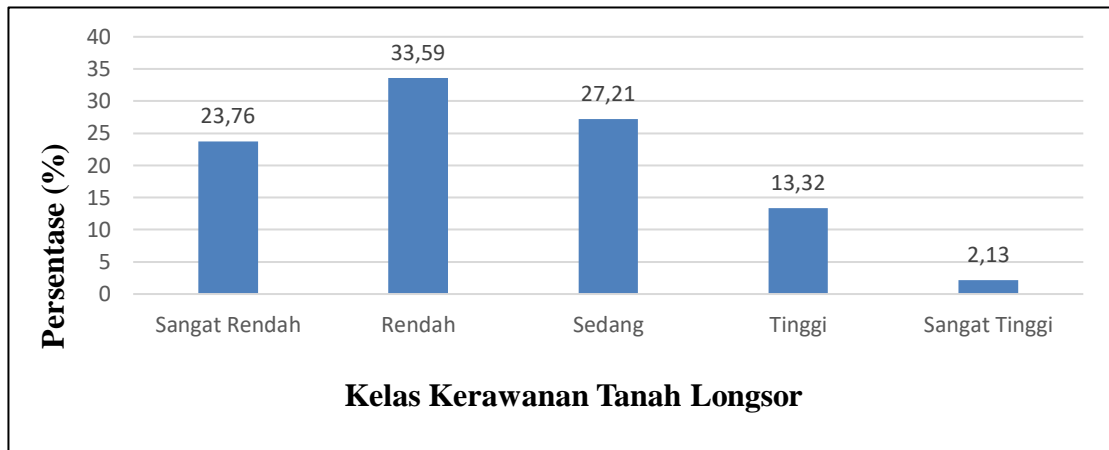
Kemudian pada kelas 25% - 45% juga melebihi rasio yakni 1,16 menandakan rawan akan terjadi tanah longsor. Kelas faktor yang dibawah rasio 1 terjadinya tanah longsor tergolong rendah. Pada kelas curam DAS Lisu lebih tinggi daripada daerah datar, sekitar 48% untuk daerah curam dan hanya 18% daerah datar dari total luas DAS Lisu. Sejalan dengan pendapat Ramadhan (2021) yaitu peluang terjadinya erosi dan longsor semakin besar dengan makin curamnya lereng. Semakin curam suatu lereng, maka semakin besar pula volume dan kecepatan aliran permukaan yang berpotensi menyebabkan tanah longsor. Penyebab terjadinya tanah longsor di daerah yang curam adalah adanya kelebihan air pada tanah, sebagai penyebab utama ketidakseimbangan lereng, sementara jenuhnya air didalam tanah dan lereng yang curam merupakan faktor yang meningkatkan risiko terjadinya longsor (Goma, dkk., 2022). Peta kemiringan lereng dapat dilihat pada Lampiran 14.

4.4. Indeks Kerawanan Tanah Longsor

Indeks kerawanan tanah longsor diperoleh dari hasil analisis 9 faktor kerawanan tanah longsor pada DAS Lisu seperti penutupan lahan, curah hujan, kemiringan lereng, ketinggian, jarak patahan, kurvatur, jarak dari sungai, aspek lereng, dan litologi. Pada analisis SIG, 9 faktor tersebut menjadi data raster yang jumlah piksel nya sama. Sesuai dengan pendapat ESRI (2019) dalam Nugroho dan Nugroho (2020) menyatakan bahwa apabila menggabungkan peta dengan resolusi yang berbeda, maka harus menyamakan ukuran pixel pada semua data yang digunakan agar diperoleh hasil yang optimal. Nilai FR per faktor lalu dijumlahkan untuk mendapatkan nilai kelas kerawanan tanah longsor. Pengklasifikasian kelas ini menggunakan model *natural breaks (jenks)* yang menghasilkan lima kelas yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Kelas indeks kerawanan tanah longsor dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 17.

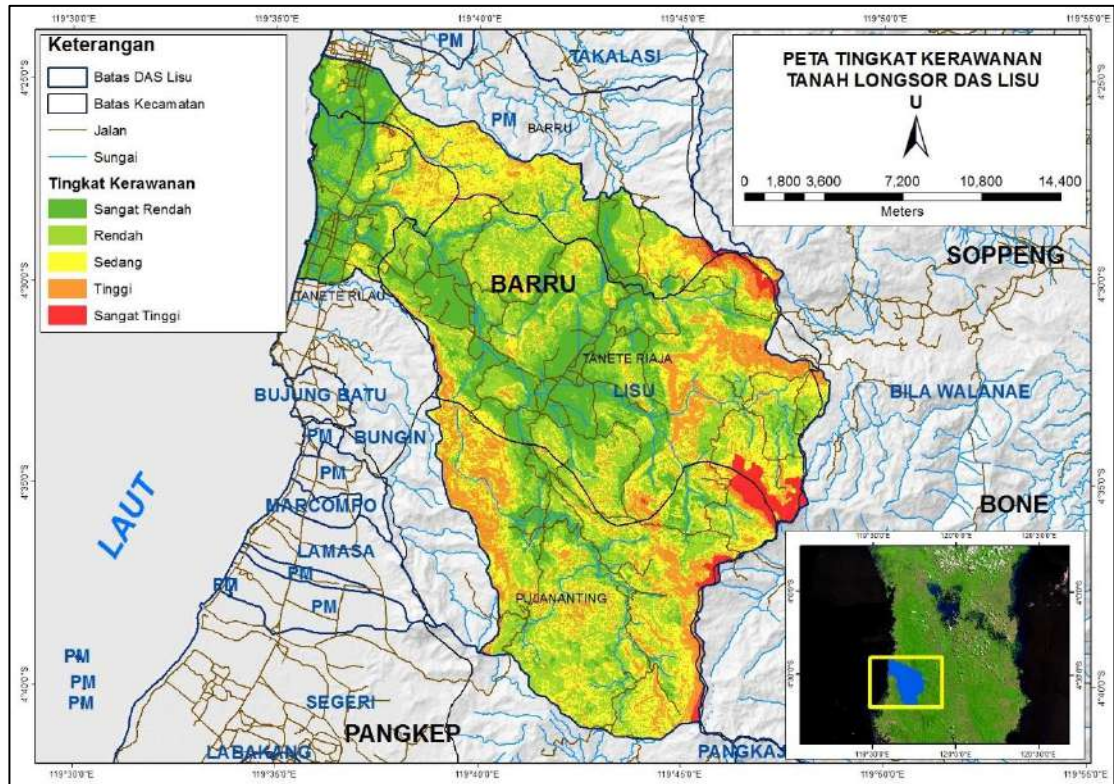
Tabel 4. Kelas Indeks Kerawanan Tanah Longsor.

Nilai Indeks Kerawanan	Kelas Kerawanan Tanah Longsor	Jumlah Piksel	Luas Ha	Persentase (%)
3,86 – 6,62	Sangat Rendah	922.385	9.230,36	23,76
6,62 – 8,53	Rendah	1.299.779	13.049,46	33,59
8,53 – 10,59	Sedang	1.058.271	10.572,91	27,21
10,59 – 14,55	Tinggi	521.959	5.175,07	13,32
14,55 – 21,85	Sangat Tinggi	83.010	826,69	2,13



Gambar 17. Persentase Luas Area Indeks Kerawanan Tanah Longsor.

Pada data Tabel 4 dan Gambar 17 yang disajikan terdapat lima kelas indeks kerawanan tanah longsor yang dihasilkan yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Pada kelas sangat rendah, persentase kerawanan sebesar 23,76% yang memiliki luas 9.230,36 ha, meliputi 22 desa. Selanjutnya, pada kelas rendah, persentase 33,59% yang memiliki luas sebesar 13.048,65 ha, meliputi 23 desa. Kelas dengan tingkat kerawanan sedang, memiliki persentase sebesar 27,21% yang memiliki luas 10.571,94 ha, meliputi 23 desa. Kelas tinggi, besar persentase luas sebesar 13,32% yang memiliki luas 5.174,70 ha, meliputi 22 desa. Kelas kerawanan dengan tingkat yang sangat tinggi, memiliki persentase sebesar 2,13% dengan luas 826,60 ha, meliputi 11 desa. Tingkat kerawanan tanah longsor dapat dilihat pada Gambar 18 dan sebaran di tiap administrasi dapat dilihat pada Lampiran 4.



Gambar 18. Peta Tingkat Kerawanan Tanah Longsor

Karakteristik topografi dari DAS Lisu mempengaruhi terjadinya pergerakan tanah, dengan kondisi seperti ini didominasi oleh kemiringan lereng yang tergolong curam. Kategori ini menimbulkan longsor yang berdampak seperti kerugian harta benda, korban jiwa, maupun kerusakan sarana dan prasarana yang berdampak negatif pada kondisi ekonomi dan sosial. Pada peta Gambar 18 dapat dilihat bahwa pada zona hijau hingga kuning bisa dipastikan aman dalam masyarakat melakukan sebuah kegiatan baik bercocok tanam ataupun membangun rumah. Pada zona tersebut indeks kerawanan tanah longsor kecil meskipun beberapa kali biasa terjadi tanah longsor. Kemudian pada zona merah dan oranye memiliki keterangan tinggi hingga sangat tinggi terhadap kejadian tanah longsor dan tidak bisa dilakukan sebuah pembangunan untuk jangka panjang karena daerah tersebut rawan pergerakan yang menyebabkan terjadinya tanah longsor. Sugiharyanto, (2009) dalam Makkasau, dkk., (2018) menyatakan bahwa salah satu upaya untuk mengurangi dan mencegah dampak yang ditimbulkan longsor adalah mengetahui persebaran daerah rawan longsor pada suatu wilayah.

Kelas sangat rendah yang banyak tersebar di Kecamatan Tanete Riaja dengan luas 5.156,50 ha dari total keseluruhan luas kelas sangat rendah yaitu

9.230,36 ha, meliputi Desa Mattirowalie, Libureng, Lompo Riaja, Lompo Tengah, Kading, Lempang, Harapan. Pada kelas ini didominasi oleh penutupan lahan berupa sawah, semak belukar, pertanian lahan kering campur, menandakan banyak terjadi aktivitas kegiatan manusia.

Kelas rendah banyak tersebar pada Kecamatan Tanete Riaja dengan luas 6.304,45 ha (meliputi Desa Harapan, Kading, Mattirowalie, Libureng, Lempang, Lompo Tengah, Lompo Riaja), kemudian diikuti Kecamatan Pujananting dengan luas 4.334,01 ha (meliputi Desa Pattappa, Jangan-Jangan, Bacu-Bacu, Pujananting) dari luas total keseluruhan kelas rendah yaitu 13.049,46 ha. Pada kelas ini juga masih banyak terjadi aktivitas manusia karena tutupan lahan seperti sawah dan pertanian lahan kering campur, dan didominasi oleh kelerengan 0-8%.

Kelas sedang banyak tersebar di kecamatan Pujananting sebesar 4.176, 38 ha (meliputi Desa Pattappa, Jangan-Jangan, Bacu-Bacu, Pujananting), dan kecamatan Tanete Riaja 3.846,61 ha (meliputi Desa Harapan, Mattirowalie, Kading, Libureng, Lompo Riaja, Lompo Tengah) dengan total luas kelas sedang sebesar 10.572,91 ha. Pada kelas sedang ini mempunyai kelerengan sekitar 8-15% (landai hingga agak curam) dengan tutupan lahan yang sudah mulai didominasi oleh hutan lahan kering sekunder.

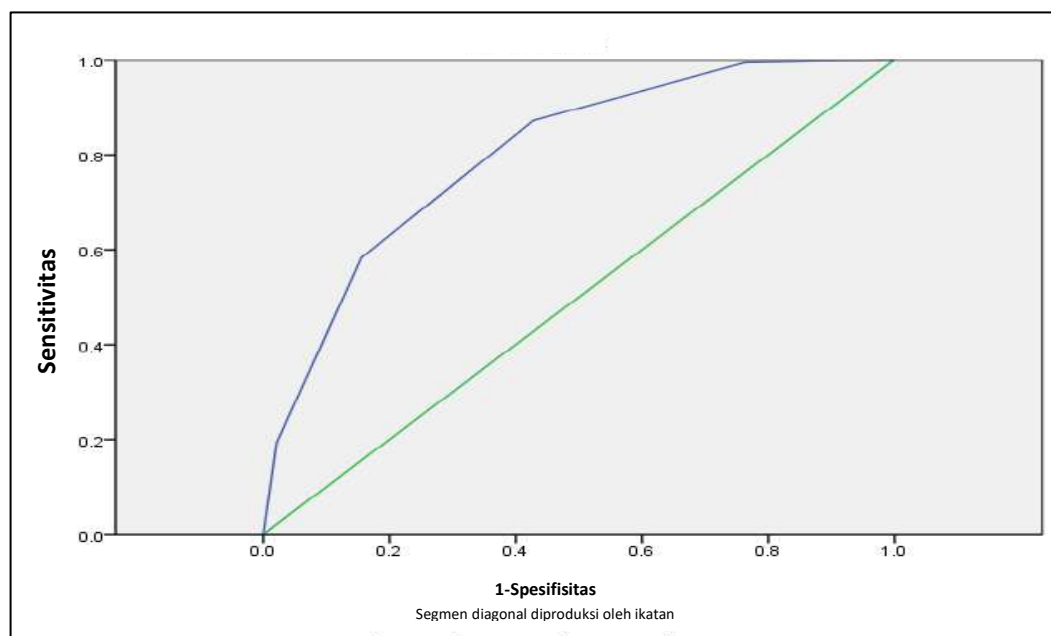
Kelas tinggi banyak tersebar di Kecamatan Pujananting sebesar 2.477, 68 ha (meliputi Desa Pattappa, Jangan-Jangan, Bacu-Bacu, Pujananting), dan Kecamatan Tanete Riaja 2.028,52 ha (meliputi Desa Harapan, Mattirowalie, Lompo Riaja, Libureng, Lompo Tengah, Kading, Lempang) dengan total luas kelas kerawanan tinggi sebesar 5.175,07 ha. Kelas ini mempunyai kelerengan yang cukup signifikan yaitu berkisar diantara 25-45% dan tergolong curam dan sangat curam. Pada kelerengan ini didominasi oleh hutan lahan kering sekunder dan semak belukar. Ini menyebabkan Kecamatan Pujananting rawan terjadinya kejadian longsor.

Pada kelas tingkat kerawanan terakhir yaitu kerawanan sangat tinggi banyak tersebar di Kecamatan Tanete Riaja sebesar 471,07 ha (meliputi Desa Harapan, Mattirowalie, Kading, Lompo Riaja), dan kecamatan Pujananting 321,57 ha (meliputi Desa Bacu-Bacu, Pujananting, Pattappa) dengan total luas kelas kerawanan sangat tinggi sebesar 826,69 ha. Kecamatan Tanete Riaja dan pujananting yang pada ketinggian sekitar 1.000 sampai 1.200 mdpl mempunyai

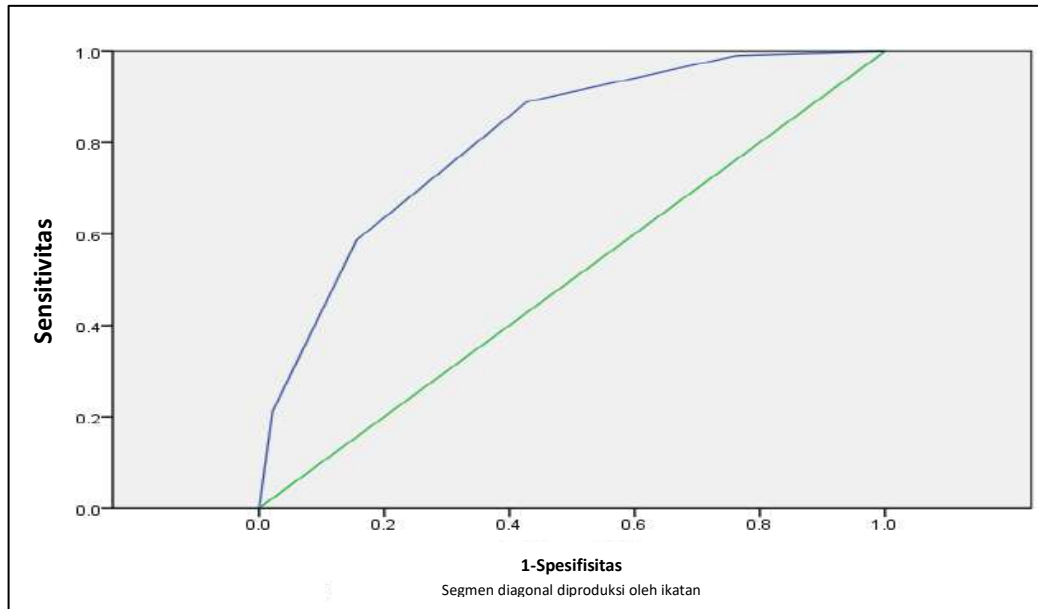
kelerengan yang tergolong sangatlah tinggi yakni diatas 45% (sangat curam). Vegetasi yang mendominasi pun banyak berupa hutan dan semak belukar. Meskipun didominasi oleh hutan tetapi kelerengan dan ketinggian yang saling berkorelasi terhadap terjadinya tanah longsor menyebabkan probabilitas tanah longsor bisa saja terjadi.

4.5. Validasi Data

Analisis dari hasil metode FR terhadap indeks kerawanan tanah longsor dilakukan validasi dengan menggunakan analisis kurva ROC (*Receiver Operating Characteristics*) dengan menggunakan *software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)* untuk mengevaluasi kemampuan prediksi model yang telah dilakukan analisis. Nilai pada daerah di bawah kurva atau AUC (*Area Under Curve*) yang dihasilkan dari ROC, dimana AUC ini dapat menghitung tingkat akurasi suatu model secara kuantitatif. Analisis ROC cocok untuk menilai validitas model yang memprediksi lokasi terjadinya pada kelas dengan membandingkan gambar prediksi (peta kerawanan tanah longsor) yang pada setiap kelas (Pontius, 2001). Data yang digunakan dalam validasi ini yaitu 172 data kejadian tanah longsor yang dibagi menjadi 70% untuk tingkat kesuksesan nilai model dan 30% untuk tingkat prediksi model dengan pemilihan acak (*sampling*). Kurva hasil validasi dapat dilihat pada Gambar 19 dan Gambar 20, serta Tabel 5 berikut.



Gambar 19. Kurva hasil validasi ROC tingkat kesuksesan model



Gambar 20. Kurva hasil validasi ROC tingkat prediksi model

Tabel 5. Nilai AUC dari hasil validasi ROC

Metode	Nilai AUC
Tingkat kesuksesan model (70%)	0,80
Tingkat prediksi model (30%)	0,83

Validasi dari kejadian tanah longsor dengan menggunakan pemodelan FR menghasilkan 0,80 untuk tingkat kesuksesan model dan 0,83 untuk tingkat prediksi model. Ini menunjukkan bahwa sekitar 80% data yang dihasilkan dari validasi ini memiliki tingkat keakuratan yang cukup tinggi dalam menganalisis kejadian tanah longsor menggunakan metode FR. Sebagaimana sesuai dengan pernyataan Gholami, dkk., (2019) dalam Grizelda (2020) menyatakan 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).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang di dapatkan dari hasil penelitian ini yaitu :

1. Identifikasi sebaran kejadian tanah longsor di DAS Lisu dari tahun 2017 sampai tahun 2021 sebanyak 172 kejadian tanah longsor dengan rincian sebanyak 32 kejadian pada tahun 2017, 22 kejadian pada tahun 2018, 20 kejadian pada tahun 2019, 19 kejadian pada tahun 2020, dan yang tertinggi terjadi pada tahun 2021 ada 79 kejadian (46%).
2. Peta tingkat kerawanan tanah longsor hasil dari metode *FR* memiliki tingkat kerawanan yang tersebar dari hilir hingga hulu. Pada tingkat sangat rendah terdapat dibagian hilir seluas 9.230,36 ha (23,76%), kelas rendah seluas 13.048,65 ha (33,59%), kelas sedang seluas 10.571,94 ha (27,21%), kelas tingkat kerawanan tinggi seluas 5.174,70 ha (13,32%), dan kelas kerawanan dengan tingkat yang sangat tinggi seluas 826,60 ha (2,13%) tersebar di daerah hulu. Hasil validasi dari tingkat kesuksesan model sebesar 0,80 dan tingkat prediksi model sebesar 0,83, nilai AUC ini yang didapatkan dari hasil kurva ROC di *software* SPSS.

5.2. Saran

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan perlu adanya penelitian berlanjut mengenai sifat fisik tanah, seperti struktur dan tekstur tanah. Sehingga pengaruh tanah terhadap longsor lebih dapat dijelaskan. Apabila penelitian selanjutnya menggunakan metode rasio frekuensi, diharapkan untuk lebih mempersiapkan data faktor, dan mengembangkan data faktor tersebut agar data yang ditawarkan dalam analisis tingkat kerawanan tanah longsor beragam. Daerah dengan tingkat indeks kerawanan tanah longsor tinggi pada kelerengan $>45\%$ dapat dilakukan tindakan konservasi berupa penanaman tanaman yang dapat mengikat tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, F. (2010). Studi Identifikasi Penyebab Longsor di Botu. *Saintek Ejournal Ung*, 5(1), 84-95.
- Adil, A., & Kom, S. (2017). *Sistem Informasi Geogafis*. Yogyakarta. Penerbit Andi.
- Aldi, M., Siregar, I. R., & Bilqis, A. (2021). Pemetaan Daerah Rawan Longsor Menggunakan *Machine Learning* di Kecamatan Muara Tami, Kota Jayapura, Papua. *Jurnal Geofisika*, 19(1), 24-30.
- Anggraeni, D. (2017). Sistem Informasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai di BPDAS Kota Padang. *Jurteksi (Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi)*. Vol. Iv No. 1, Des 2017, Hlm. 29 – 36.
- Apriyano, A. (2009). Analisis Penyebab Tanah Longsor di Kalitlaga Banjarnegara (*Landslide Caused Analysis in Kalitlaga Banjarnegara*). *Dinamika Rekayasa*. Vol. 5 No. 1 Februari 2009.
- Arini, Wardhani, L. K., Octaviano, D. (2020). Perbandingan Seleksi Fitur *Term Frequency & Tri-Gram Character* Menggunakan Algoritma Naïve Bayes Classifier (Nbc) Pada Tweet Hashtag #2019gantipresiden. *KILAT*. Vol. 9, No. 1, April 2020.
- Arsyad, U., Barkey, R., Wahyuni., Matandung, K, K. (2018). Karakteristik Tanah Longsor Di Daerah Aliran Sungai Tangka. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*. Vol. 10 (1): 203-214, Juli 2018.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2018). BMKG | Balai Besar MKG Sulawesi Selatan, Indonesia.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2015). *Data Pantauan Bencana (Tanah Longsor)*; Jakarta Pusat.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2020). BNPB | Balai Nasional Penanggulangan Bencana Sulawesi-Selatan.
- Barus, B., & Wiradisastra, D. U. (2000). Sistem Informasi Geografi; Sarana Manajemen Sumberdaya. *Laboratorium Pengindraan Jauh dan Kartografi Jurusan Tanah Fakultas Pertanian IPB*. Bogor.
- Chen, W., Xie, X., Wang, J., Pradhan, B., Hong, H., Bui, D. T., & Ma, J. (2017). *A Comparative Study of Logistic Model Tree, Random Forest, And Classification and Regression Tree Models for Spatial Predictioa of Landslide Susceptibility*. *Catena*, 151, 147-160.
- Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. (2005). *Manajemen Bencana Tanah Longsor*. Bandung.
- Fadilah, N., Arsyad, U., Soma, A., S. (2019). Analisis Tingkat Kerawanan Tanah Longsor Menggunakan Metode Frekuensi Rasio di Daerah Aliran Sungai

Bialo (*Analysis of the Landslides Vulnerability Level Using Frequency Ratio Method in Bialo Watershed*). *Jurnal Perennial*. Vol. 15 No. 1:42-50.

- Faizana, F., Nugraha, AL., Yuwono, BD. (2015). Pemetaan Risiko Bencana Tanah Longsor Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip Januari 2015*. Volume 4, Nomor 1, Tahun 2015.
- Farhi, Z. (2012). Tingkat Kerentanan dan Indeks Kesiapsiagaan Masyarakat Terhadap Bencana Tanah Longsor di Kecamatan Bantarkawung Kabupaten Brebes. *Majalah Geografi Indonesia*, 26(1), 80-97.
- Farida, K. J., Kurniasari, D., Widayati, A., Ekadinata, A., Hadi, D. P., Joshi, L., & Van Noordwijk, M. (2005). Penilaian Cepat Hidrologis: Pendekatan Terpadu dalam Menilai Fungsi Daerah Aliran Sungai (DAS). *Bogor: Rewarding Upland Poor For Environmental Services (RUPES) Program World Agroforestry Centre (ICRAF)*.
- Fuady, Z., Azizah, C. (2008). Tinjauan Daerah Aliran Sungai Sebagai Sistem Ekologi dan Manajemen Daerah Aliran Sungai. *Jurnal Universitas Almuslim*. Lentera : Vol.6, Oktober 2008.
- Gholami, M., Ghachkanlu, E. N., Khosravi, K., & Pirasteh, S. (2019). *Landslide Prediction Capability by Comparison of Frequency Ratio, Fuzzy Gamma and Landslide Index Method*. *Journal of Earth System Science*, 128(2), 1-22.
- Goma, E. I., Sunimbar, S., & Angin, I. S. (2022). Analisis Geologi Kejadian Longsor di Desa Wolotolo Kecamatan Detusoku Kabupaten Ende. *Jpg (Jurnal Pendidikan Geografi)*, 9(2).
- Grizelda, A. S. (2020). *Analisis Tingkat Kerawanan Tanah Longsor Menggunakan Kombinasi Metode Frequency Ratio dan Fuzzy Logic di Sub DAS Jenelata, DAS Jeneberang* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Halil, A., Sedat, D., Cem, K. O., & Mahir, S. T. (2011). *Production of landslide susceptibility map of Samsun (Turkey) City Center by using frequency ratio method*. *International Journal of Physical Sciences*, 6(5), 1015-1025.
- Handayani, L., & Singarimbun, A. (2016). Pemetaan Daerah Rawan Longsor di Sekitar Daerah Prospek Panas Bumi Provinsi Jawa Barat. *Journal Online of Physics*, 2(1), 17-22.
- Haribulan R., Gosal PH., Karongkong HH. (2019). Kajian Kerentanan Fisik Bencana Longsor di Kecamatan Tomohon Utara. *Jurnal Spasial*. Vol 6. No. 3, 2019.
- Husein, Z., Tjahjono, B., & Nurwajedi, N. (2017). Analisis Zona Bahaya Banjir dan Tsunami Berbasis Ekoregion di Provinsi Banten. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 19(2), 60-67.

- Indonesia. *Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan*. Lembaran Negara RI Tahun 1999 Nomor 18, Tambahan Lembaran RI Nomor 3888. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Irwansyah, E. (2013). *System Informasi Geografis : Prinsip Dasar dan Pengembangan Aplikasi*. Penerbit : Digibooks. Yogyakarta.
- Karsun, Merit, IN., Suarna, IW. (2015). Arahan Penggunaan Lahan Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Telagawaja Provinsi Bali. *Ecotrophic*. Volume 9 Nomor 1 Tahun 2015.
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2018). Peta Batas Daerah Aliran Sungai. Sumber dari SK Kementrian LHK tahun 2018 Nomor SK.304 tentang Penetapan Peta Daerah Aliran Sungai.
- Lee, S., & Lee, M. J. (2006). *Detecting landslide location using KOMPSAT 1 and its application to landslide-susceptibility mapping at the Gangneung area, Korea*. *Advances in Space Research*, 38(10), 2261-2271.
- Lesawengan, R. N., & Prasetyo, S. Y. J. (2017). Pemetaan Curah Hujan Menggunakan Metode Isohyet Studi Kasus: Kota Semarang Artikel Ilmiah Diajukan Kepada Fakultas Teknologi Informasi.
- Lillesand, T. M. Dan Kiefer, R. W. (1994). *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Maheshwari, B. K., Sangeeta. (2018). *Earthquake-Induced Landslide Hazard Assessment of Chamoli District, Uttarakhand Using Relative Frequency Ratio Method*. *Indian Geotechnical Journal*, 49(1), 108-123.
- Makkasau, A. R., Rijal, S., Arsyad U. (2018). Arahan Penggunaan Lahan Untuk Mitigasi Kerawanan Longsor di Daerah Aliran Sungai Bonehau (*The Direction of Land Use for Landslide Mitigation Insecurity of Wagershed Bonehau*). Universitas Hasanuddin.
- Menteri Pekerjaan Umum. (2007). Nomor : 22 /PRT/M/2007 tentang *Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor*. Lembaran RI Tahun 2007. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Nandi. 2007. *Longsor*. UPI Press, Bandung
- Notohadiprawiro, T. (1981). Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Program Penghijauan. *Artikel Disampaikan Pada Kuliah Penataran Perencanaan Pembangunan Pedesaan dan Pertanian Staf Departemen Pertanian di Fakultas Pertanian UGM. Repro Ilmu Tanah UGM 2006*.
- Nugroho, D. D., Nugroho H. (2020). Analisis Kerentanan Tanah Longsor Menggunakan Metode *Frequency Ratio* Di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat. *Geoid Journal of Geodesy and Geomatics*. Vol. 16, No. 1, 2020.
- Nurhijriah, L., Ruhiyat, Y., & Rostikawati, D. A. (2022). Pemetaan Distribusi Curah Hujan Rata-Rata Menggunakan Metode Isohyet di Wilayah Kabupaten Tangerang. *Newton-Maxwell Journal of Physics*, 3(2), 46-55.

- Nusantara, Y. P. dan A. Setianto. (2015). Pemetaan Bahaya Tanah Longsor dengan Metode *Frequency Ratio* di Kecamatan Piyungan dan Pleret, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Proceeding, Seminar Nasional Kebumihan Ke-8 Academia-Industry Linkage* 15-16 Oktober 2015: Grha Sabha Pramana.
- Pemerintah Indonesia. (2012). *Undang-Undang Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Lembaran RI Tahun 2012, Nomor 1. Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4723. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Pemerintah Pusat. (2007). *Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana*. Lembaran RI Tahun 2007, Nomor 14. Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5292. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Pham, B. T., Tien Bui, D., Indra, P., & Dholakia, M. (2015). *Landslide Susceptibility Assessment at A Part of Uttarakhand Himalaya, India Using GIS-Based Statistical Approach of Frequency Ratio Method*. *Int J Eng Res Technol*, 4(11), 338-344.
- Pontius Jr, R. G., & Schneider, L. C. (2001). *Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA*. *Agriculture, ecosystems & environment*, 85(1-3), 239-248.
- Ramadhan, M. (2021). *Analisis Tingkat Kerawanan Tanah Longsor dengan Menggunakan Kombinasi Metode Frequeuncy Ratio dan Fuzzy Logic di Sub DAS Malino DAS Jeneberang* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS HASANUDDIN).
- Rasyid, A. R., Bhandary, N. P., & Yatabe, R. (2016). Kinerja Rasio Frekuensi dan Model Regresi Logistik dalam Pembuatan Peta Kerawanan Longsor Berbasis GIS di PT Gunung Lompobattang, Indonesia (*Performance of Frequency Ratio and Logistic Regression Model in Creating GIS Based Landslides Susceptibility Map at Lompobattang Mountain, Indonesia*). *Geoenvironmental Disasters*, 3(1), 1-16.
- Risa, Maulini. (2020). *Prediksi Aliran Permukaan Pada Beberapa Satuan Lahan dengan Metode SCS (Soil Conservation Service) di Sub Das Latung DAS Air Dingin Lubuk Minturun Kecamatan Koto Tangah Kota Padang*. Diploma Thesis, Universitas Andalas.
- Rozos, D., Pyrgiotis, L., Skias, S., & Tsagaratos, P. (2008). *An implementation of rock engineering system for ranking the instability potential of natural slopes in Greek territory. An application in Karditsa County*. *Landslides*, 5(3), 261-270.
- Sabir, A., Phil, M. (2016). Gambaran Umum Persepsi Masyarakat Terhadap Bencana di Indonesia. *Jurnal Ilmu Ekonomi dan Sosial*. Volume 5, Nomor 3, November 2016, halaman 304 – 326.

- Sambolangi, L., Arsyad, U., & Bachtiar, B. (2017). *Identifikasi Jenis dan Karakteristik Longsor di Daerah Aliran Sungai (DAS) Lisu, Kabupaten Barru*. Universitas Hasanuddin
- Shahabi, H., Hashim, M. (2015). Pemetaan Kerentanan Tanah Longsor Menggunakan Model Statistik Berbasis GIS dan Data Penginderaan Jauh di Lingkungan Tropis (*Landslide Susceptibility Mapping Using GIS-Based Statistical Models and Remote Sensing Data in Tropical Environment*. *Sci Rep* 5, 9899.
- Soma, AA, & Kubota, T. (2017). Kinerja Faktor Penyebab Perubahan Penggunaan Lahan Pada Peta Kerawanan Longsor di Hulu DAS Ujung-Loe Sulawesi Selatan, Indonesia. *Geoplanning: Jurnal Geomatika dan Perencanaan*, 4 (2), 157-170. doi:10.14710/geoplanning.4.2.157-170.
- Soma, A. S., & Kubota, T. (2018). Peta kerawanan longsor menggunakan faktor kepastian untuk mitigasi bahaya di daerah pegunungan DAS Ujung-loe di Sulawesi Selatan (*Landslide Susceptibility Map Using Certainty Factor For Hazard Mitigation In Mountainous Areas Of Ujung-Loe Watershed In South Sulawesi*). *For. Soc.*, 2, 79-91.
- Soma, A. S., Kubota, T., & Mizuno, H. (2019). Optimalisasi Faktor Penyebab Menggunakan Regresi Logistik Dan Model Jaringan Saraf Tiruan Untuk Longsor Penilaian Kerentanan di DAS Ujung Loe, Selatan Sulawesi Indonesia (*Optimization of causative factors using logistic regression and artificial neural network models for landslide susceptibility assessment in Ujung Loe Watershed, South Sulawesi Indonesia*). *Journal of Mountain Science*, 16(2),383-401.
- 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*. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(2), 267.
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A. C., & Yomralioglu, T. (2011). A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena*, 85(3), 274-287.
- Zhang, YX., Lan, HX., Li, LP., Wu, YM., Chen, JH., Tian, NM. (2020). *Optimizing the Frequency Ratio Method For Landslide Susceptibility Assessment: A Case Study of the Caiyuan Basin in the Southeast Mountainous Area of China*. *Journal Of Mountain Science*, 17(2), 340-357.
- Zaman, N. (2021). *Hubungan Perubahan Penggunaan Lahan dan Kejadian Longsor Untuk Analisis Tingkat Kerawanan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bua-Bua Kabupaten Kepulauan Selayar* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Kejadian Tanah Longsor di DAS Lisu



Tanah Longsor 1, dikelilingi oleh penutupan lahan semak belukar



Tanah longsor 2, terdapat disekitar hutan sekunder dan akses yang sulit



Tanah Longsor 3, dikelilingi oleh penutupan lahan hutan sekunder dan akses yang masih bisa ditempuh



Tanah longsor 4, berada disekitar pertanian lahan kering campur



Tanah Longsor 5, dikelilingi oleh penutupan semak belukar



Tanah longsor 6, berada dipinggir jalan

Lampiran 2. Penutupan Lahan DAS Lisu



Tubuh Air



Sawah



Tambak



Padang Rumput



Permukiman



Lahan Terbuka



Pertanian Lahan Kering Campur



Semak



Hutan Lahan Kering Sekunder

Lampiran 3. Validasi Penutupan Lahan (*Confusion Matrix*) DAS Lisu

Kelas Google / Kelas Referensi	HLKP	HLKS	Hutan Tanaman	Semak Belukar	Permukiman	Lahan Terbuka	Padang Rumput	PLK	PLKC	Sawah	Tambak	Tubuh Air	Total	User's Accuracy
HLKP	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
HLKS	0	56	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	57	98.24561
Hutan Tanaman	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Semak Belukar	0	0	0	46	0	1	1	0	2	0	0	0	50	92
Permukiman	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5	100
Lahan Terbuka	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	100
Padang Rumput	0	0	0	3	0	0	9	0	0	0	0	0	12	75
PLK	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
PLKC	0	0	0	3	0	0	0	0	25	0	0	0	28	89.28571
Sawah	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	50	100
Tambak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	100
Tubuh Air	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	100
Total	0	58	0	53	5	2	10	0	28	50	5	1	212	
Producer Accuracy	0	96.5517	0	86.7925	100	50	90	0	89.2857	100	100	100		198

Overall Accuracy : $\frac{198}{212} \times 100\% = 93,39\%$

Lanjutan Lampiran 3.

Analisis data titik tutupan lahan

No.	Penutupan Lahan	Luas (Ha)	Persentase (%)	nilai desimal	A	B	C	n
1	HLKP	39,47	0,101578401	0,00	0,109036152	0,002762663	0,384677733	1
2	HLKS	11.524,77	29,66135242	0,30	6.546,136417	0,568005906	115,2376823	57
3	Hutan Tanaman	142,44	0,366602911	0,00	1,41646516	0,009944174	1,414417041	1
4	Semak Belukar	9.589,15	24,67964025	0,25	4.852,875785	0,506079912	95,88149206	50
5	Permukiman	710,45	1,828476268	0,02	34,71948924	0,048870046	7,094451919	5
6	Lahan Terbuka	94,40	0,242958713	0,00	0,622899034	0,00659848	0,934003773	1
7	Padang Rumput	1.792,67	4,613810366	0,05	214,7900313	0,119815534	17,91672647	12
8	PLK	39,86	0,10258783	0,00	0,111212874	0,002790088	0,388599817	1
9	PLKC	4.478,76	11,52699814	0,12	1.243,518782	0,277648208	44,77756738	28
10	Sawah	9.481,87	24,40354102	0,24	4.762,294948	0,502252596	94,80872249	50
11	Tambak	800,33	2,059809892	0,02	43,95662717	0,054923217	7,993286995	5
12	Tubuh Air	160,33	0,412643782	0,00	1,793758426	0,01118787	1,593306514	1
Jumlah		38.854,49	100					211

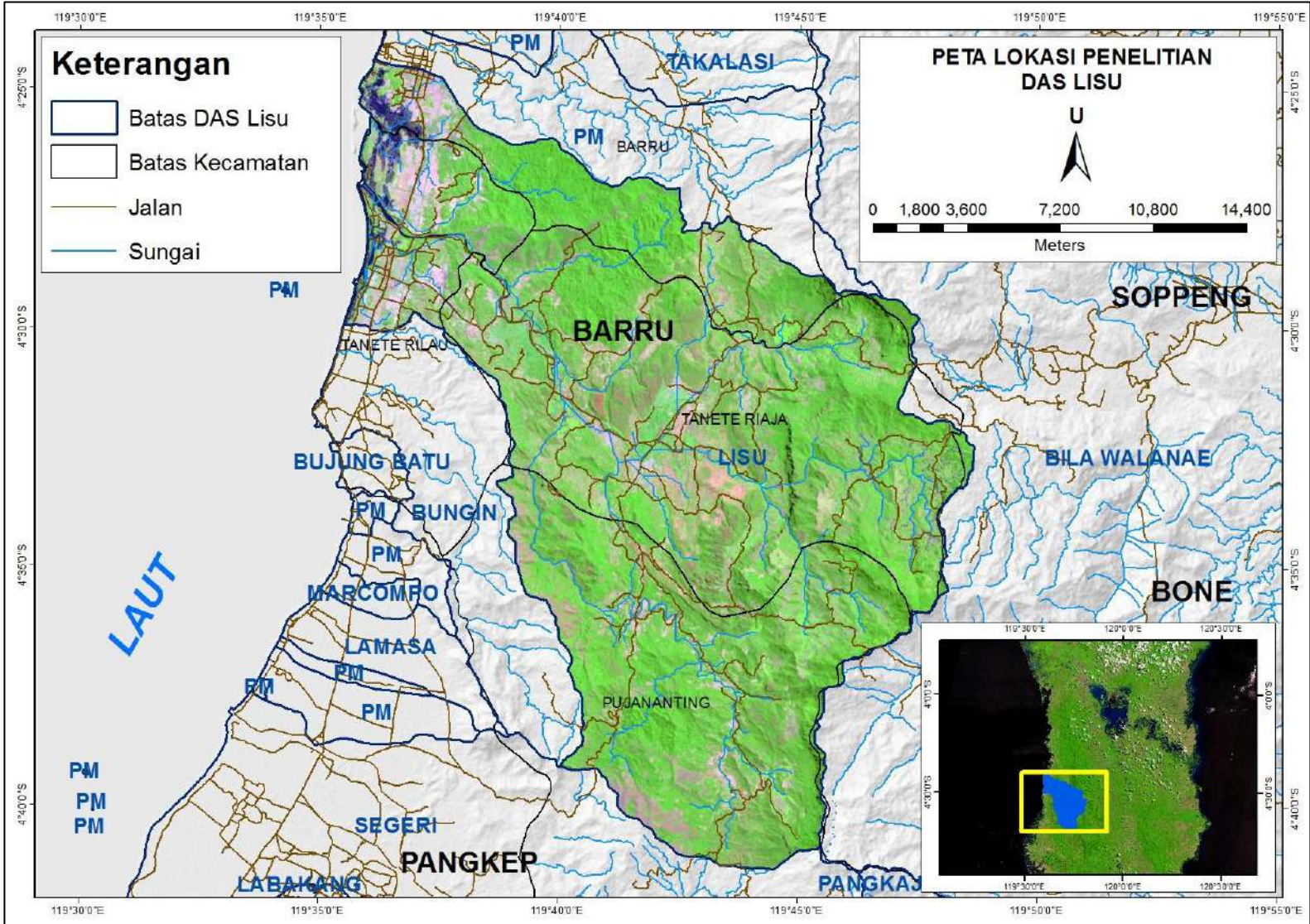
Lampiran 4. Sebaran Kerawanan Tanah Longsor di Administrasi Kecamatan / Desa pada DAS Lisu

Kelas Kerawanan	Kecamatan	Desa	Luas Ha	Kota/Kabupaten
Sangat Rendah	Barru	Anabanua	484,06	Barru
		Coppo	618,55	
		Palakka	52,68	
		Sumpang Binangae	29,78	
		Tuwung	13,91	
	Pujananting	Bacu-Bacu	205,65	
		Jangan-Jangan	362,06	
		Pattappa	626,48	
		Pujananting	31,78	
	Tanete Riaja	Harapan	293,61	
		Kading	617,56	
		Lempang	539,77	
		Libureng	1.001,38	
		Lompo Riaja	923,62	
		Lompo Tengah	692,73	
		Mattirowalie	1.087,83	
	Tanete Rilau	Garessi	365,51	
		Lalolang	191,23	
		Lipukasi	400,88	
		Pao-Pao	227,56	
		Tanete	176,85	
		Tellumpanua	286,87	
	Total		9.230,36	
Rendah	Barru	Anabanua	771,99	Barru
		Coppo	342,08	
		Palakka	259,21	
		Sumpang Binangae	11,60	
	Pujananting	Bacu-Bacu	636,93	
		Jangan-Jangan	1.016,58	
		Pattappa	2.094,91	
		Pujananting	585,59	
	Tanete Riaja	Harapan	1.651,20	
		Kading	1.040,52	
		Lempang	853,73	
		Libureng	869,77	
		Lompo Riaja	415,85	
		Lompo Tengah	472,53	
		Mattirowalie	1.000,85	
Tanete Rilau	Corawali	1,34		
	Garessi	60,42		

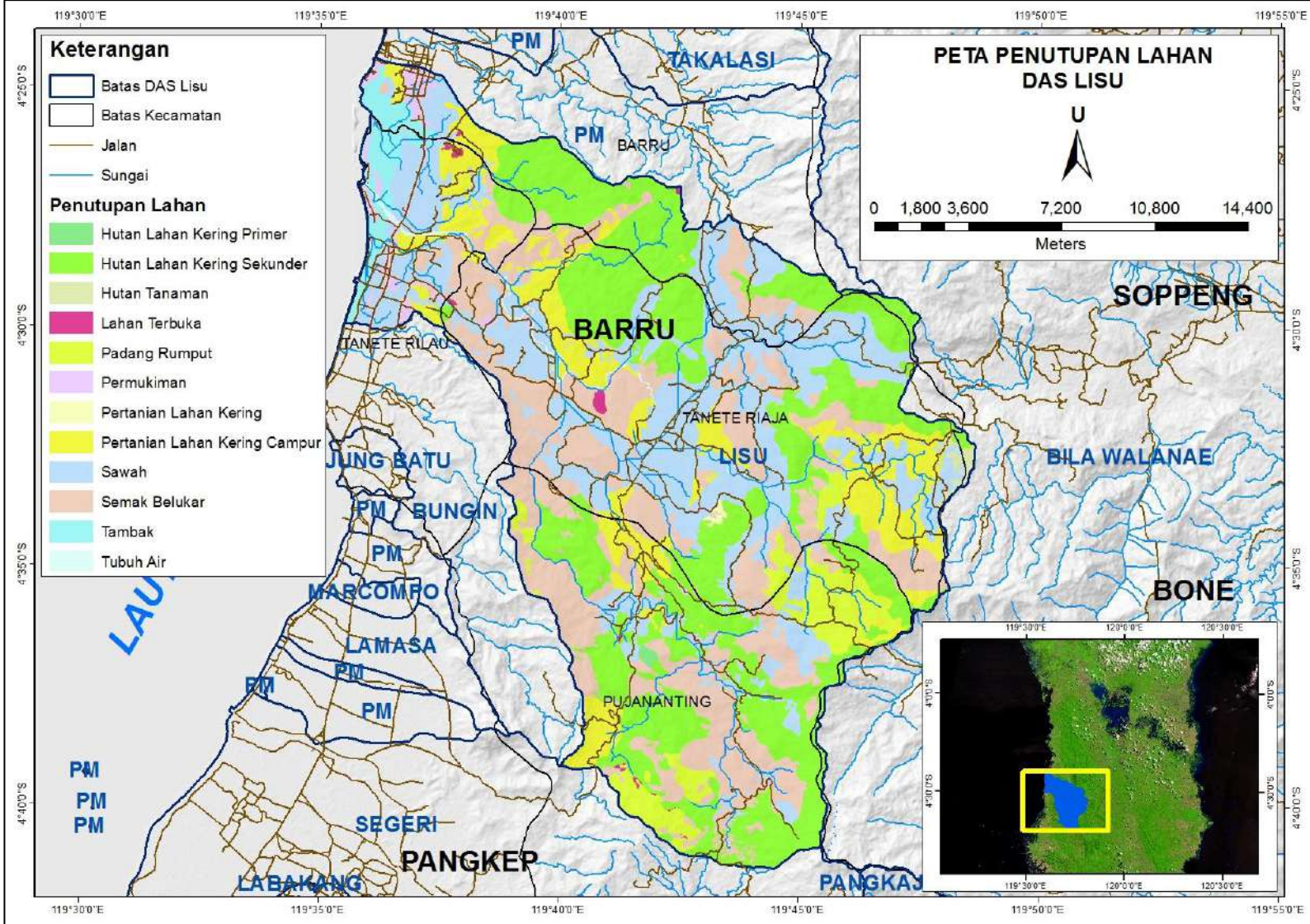
		Lalabata	1,52	
		Lalolang	33,19	
		Lipukasi	552,43	
		Pao-Pao	55,84	
		Tanete	133,08	
		Tellumpanua	188,30	
	Total		13.049,46	
Sedang	Barru	Anabanua	685,89	Barru
		Coppo	867,38	
		Palakka	223,20	
		Sumpang Binangae	3,83	
	Pujananting	Bacu-Bacu	684,68	
		Jangan-Jangan	774,79	
		Pattappa	2.086,63	
		Pujananting	630,27	
	Tanete Riaja	Harapan	1.709,23	
		Kading	378,69	
		Lempang	319,72	
		Libureng	376,68	
		Lompo Riaja	205,53	
		Lompo Tengah	204,30	
		Mattirowalie	652,48	
	Tanete Rilau	Corawali	2,51	
		Garessi	60,43	
		Lalabata	7,35	
		Lalolang	0,05	
		Lipukasi	561,20	
		Pao-Pao	29,87	
		Tanete	9,93	
Tellumpanua		98,29		
Total		10.572,91		
Tinggi	Barru	Anabanua	180,02	Barru
		Coppo	200,45	
		Palakka	100,96	
		Sumpang Binangae	0,36	
	Pujananting	Bacu-Bacu	520,53	
		Jangan-Jangan	519,70	
		Pattappa	1.242,80	
		Pujananting	194,66	
	Tanete Riaja	Harapan	1.146,81	
		Kading	78,34	
		Lempang	45,42	
		Libureng	143,26	
		Lompo Riaja	245,57	

		Lompo Tengah	122,06	
		Mattirowalie	247,07	
	Tanete Rilau	Corawali	0,32	
		Garessi	24,48	
		Lalabata	2,65	
		Lipukasi	146,23	
		Pao-Pao	4,23	
		Tanete	0,44	
		Tellumpanua	8,73	
	Total		5.175,07	
Sangat Tinggi	Barru	Anabanua	7,73	Barru
		Coppo	0,09	
		Palakka	25,72	
	Pujananting	Bacu-Bacu	273,16	
		Pattappa	18,27	
		Pujananting	30,14	
	Tanete Riaja	Harapan	465,24	
		Kading	0,16	
		Lompo Riaja	0,02	
		Mattirowalie	5,66	
	Tanete Rilau	Garessi	0,51	
	Total		826,70	

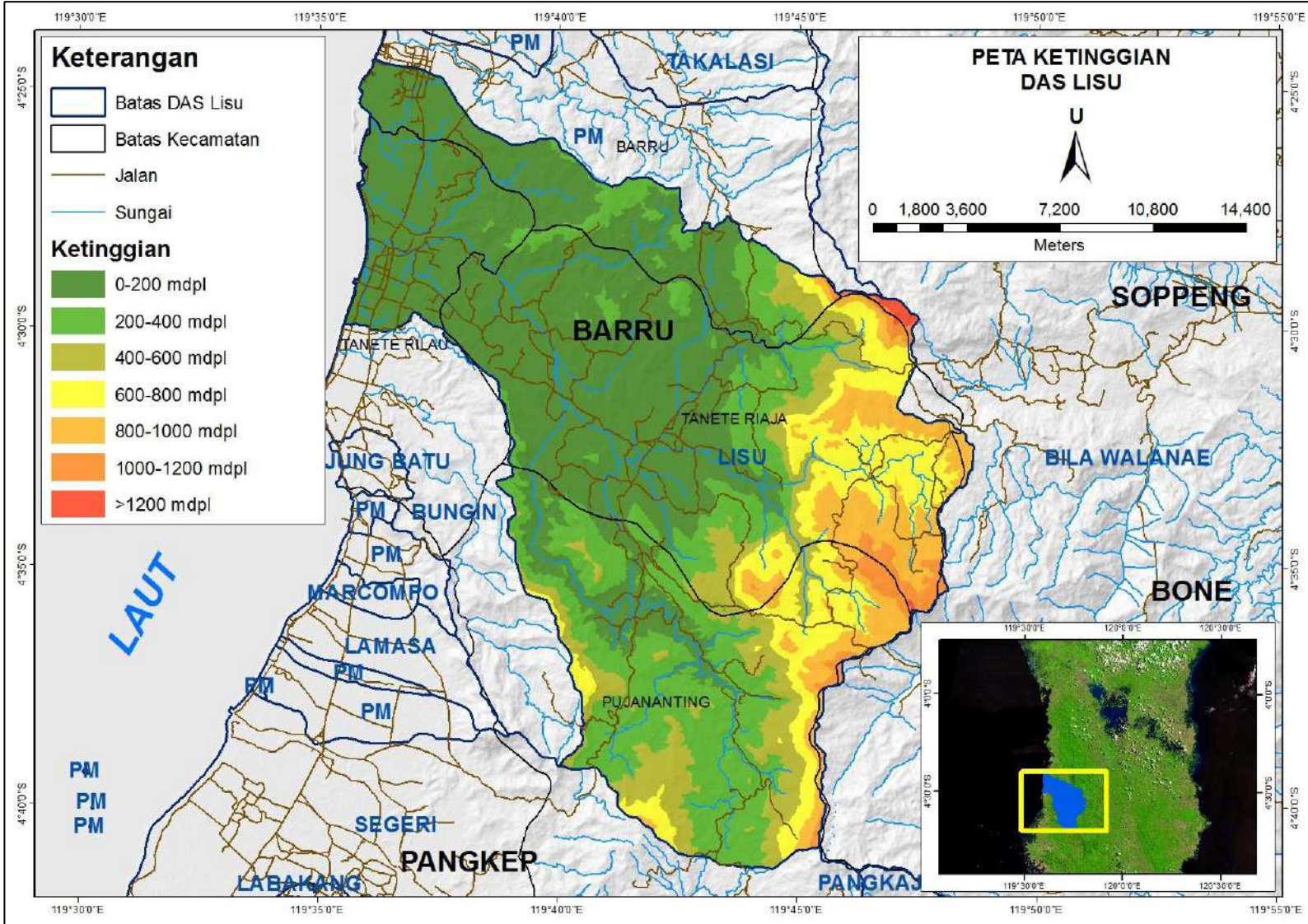
Lampiran 5. Peta Lokasi Penelitian DAS Lisu



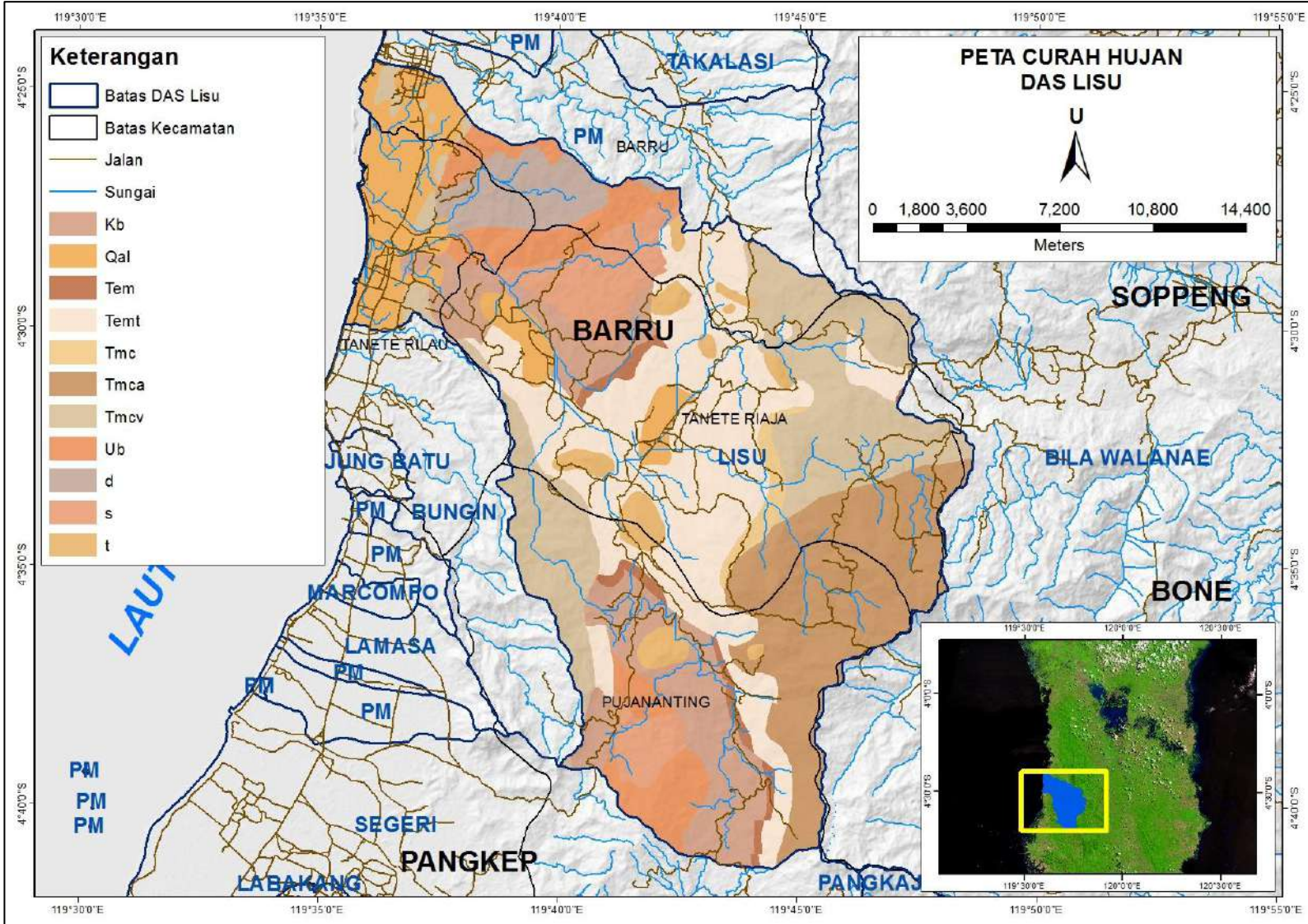
Lampiran 6. Peta Penutupan Lahan DAS Lisu



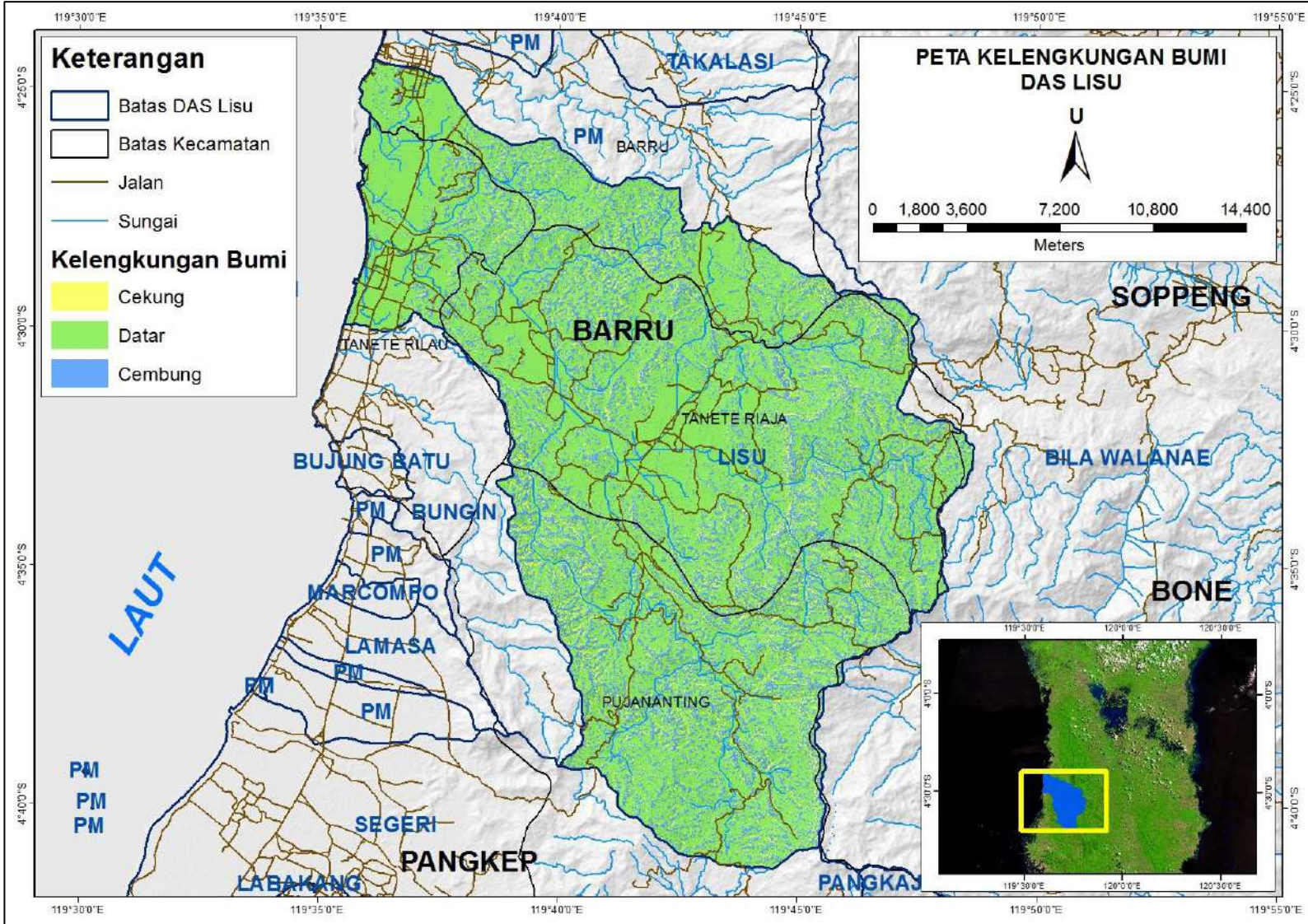
Lampiran 10. Peta Ketinggian (Elevation) DAS Lisu



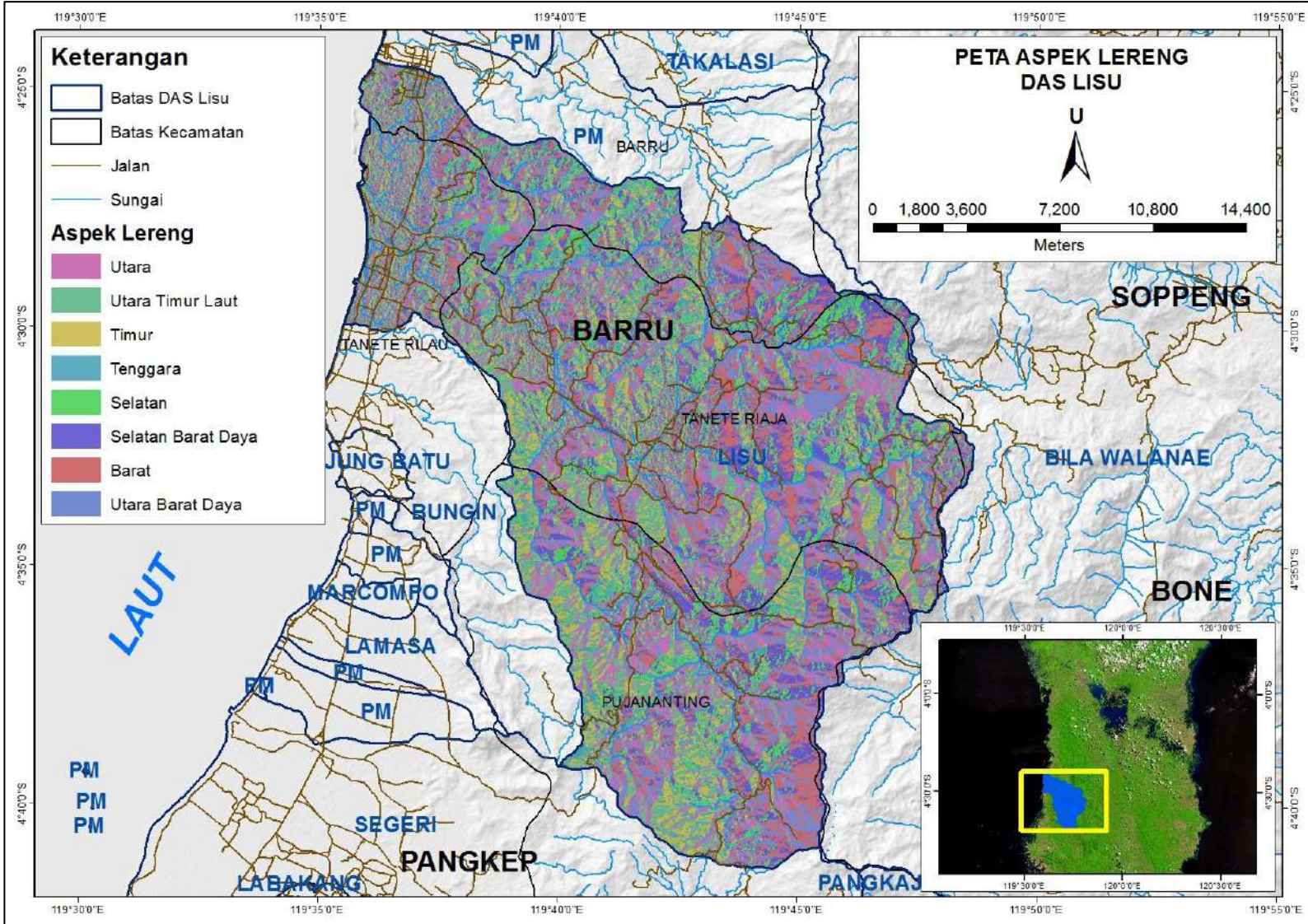
Lampiran 11. Peta Litologi DAS Lisu



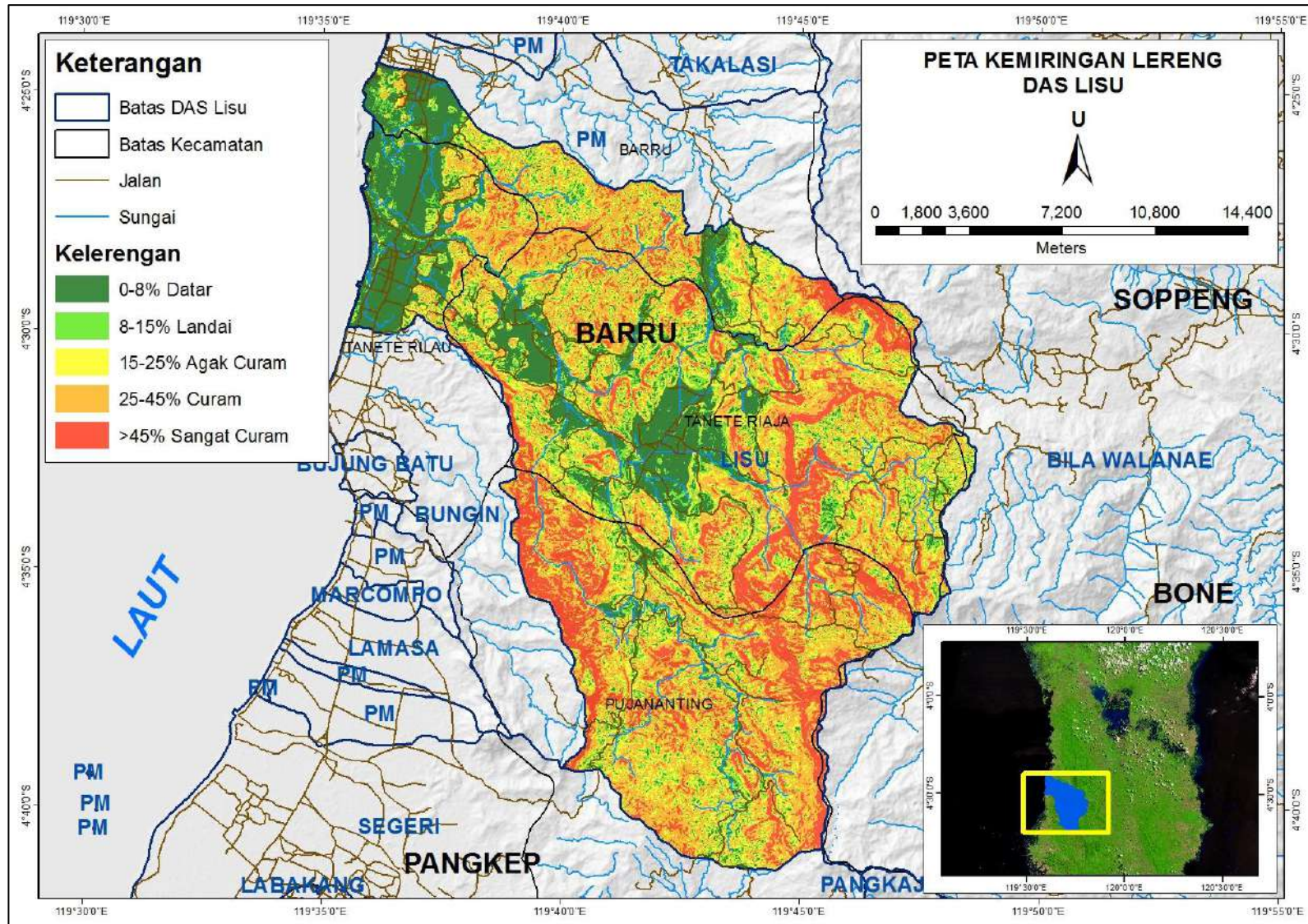
Lampiran 12. Peta Kelengkungan Bumi (Curvature) DAS Lisu



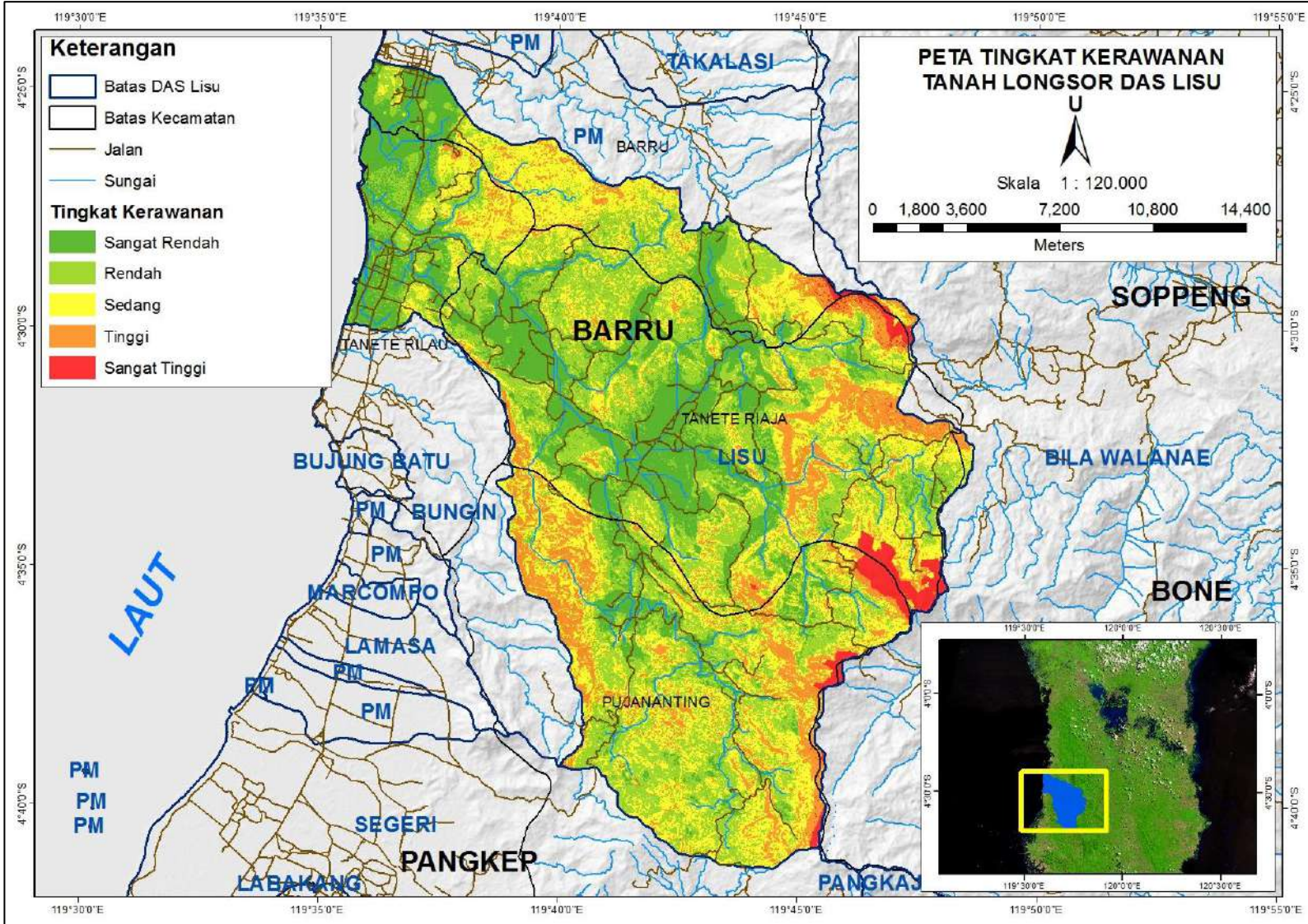
Lampiran 13. Peta Aspek Lereng DAS Lisu



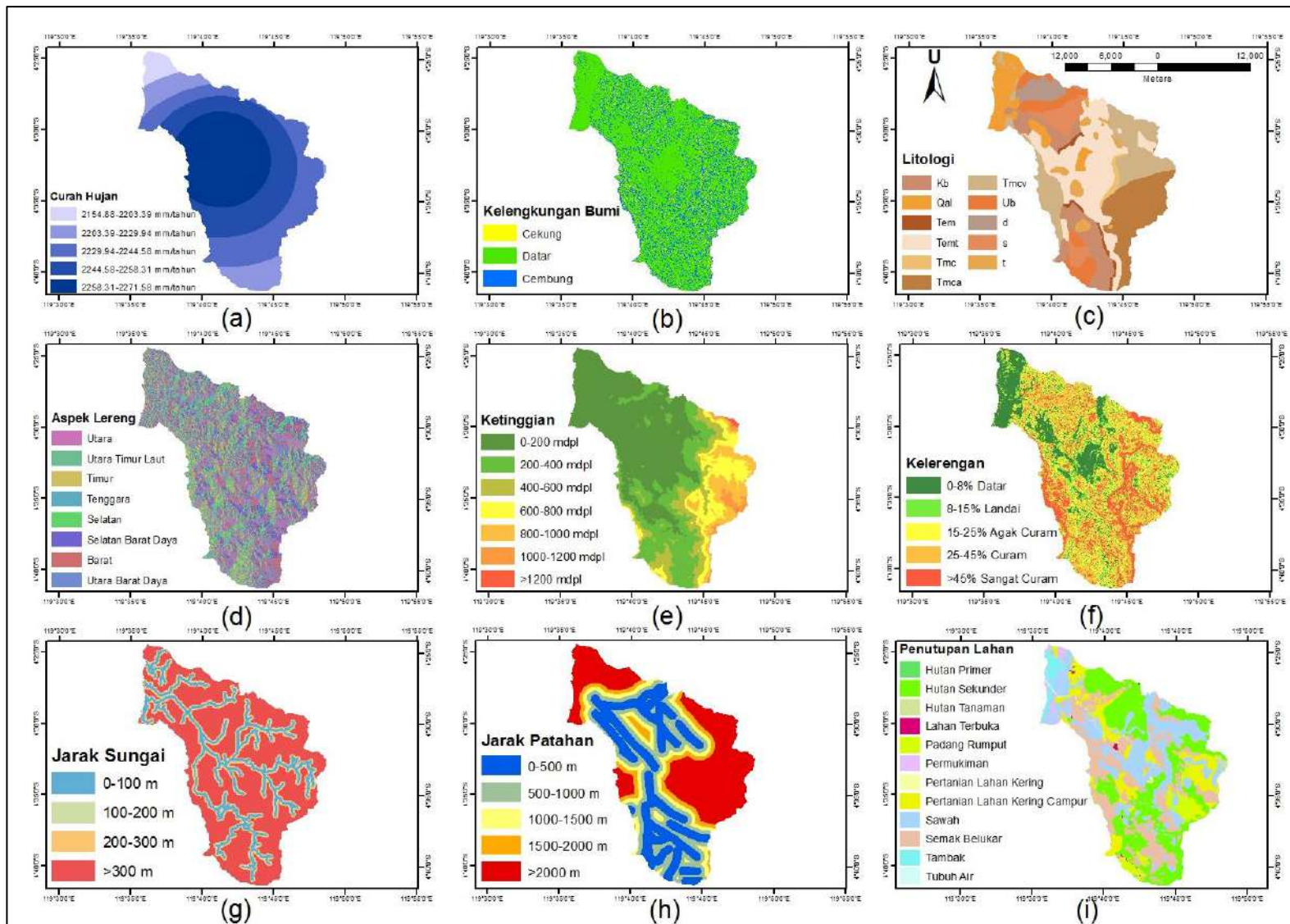
Lampiran 14. Peta Kemiringan Lereng DAS Lisu



Lampiran 15. Peta Tingkat Kerawanan Tanah Longsor DAS Lisu



Lampiran 16. Peta 9 Faktor Kerawanan Tanah Longsor DAS Lisu



Lampiran 17. Data Curah Hujan DAS Lisu

Tabel Data Curah Hujan Stasiun p-421197

Bulan/Tahun	2017	2018	2019	2020	2021	Total	average
Januari	191.32	233.74	192.7	158.86	353.75	1130.37	226.074
Februari	199.19	233.01	137.65	172.45	132.8	875.1	175.02
Maret	201.96	177.83	151.83	221.45	229.69	982.76	196.552
April	153.25	126.26	217.67	201.4	107.95	806.53	161.306
Mei	251.73	112.46	108.06	383.78	125.93	981.96	196.392
Juni	242.18	239.59	166.22	209.15	135.63	992.77	198.554
Juli	146.55	84.59	41.76	143.08	112.67	528.65	105.73
Agustus	69.17	24.76	28.68	104.71	173.94	401.26	80.252
September	106.56	31.01	27.25	100.7	137.81	403.33	80.666
Oktober	119.49	33.12	85.23	127.39	187.85	553.08	110.616
November	182.99	141.99	23.97	208.27	268.12	825.34	165.068
Desember	241.33	219.7	85.33	245.73	261.65	1053.74	210.748
Total	2105.72	1658.06	1266.35	2276.97	2227.79	9534.89	1906.978

Lanjutan Lampiran 17

Tabel Data Curah Hujan Stasiun p-481197

Bulan/Tahun	2017	2018	2019	2020	2021	Total	average
Januari	334.78	405.59	384.56	315.41	533.14	1973.48	394.696
Februari	248.41	375.87	165.77	308.76	253.43	1352.24	270.448
Maret	243.11	321.28	264.63	225.56	386.7	1441.28	288.256
April	136.38	132.24	230.26	151.89	153.79	804.56	160.912
Mei	118.32	71.31	69.79	210.27	95.61	565.3	113.06
Juni	158.29	118.55	76.17	85.57	108.58	547.16	109.432
Juli	71.48	66.27	13.85	51.1	80.01	282.71	56.542
Agustus	37.48	12.76	6.12	119.23	113.5	289.09	57.818
September	64.07	5.97	2.59	42.36	118.24	233.23	46.646
Oktober	101.39	15.5	13.57	127.41	144.2	402.07	80.414
November	289.57	180.54	33.75	276.28	310.95	1091.09	218.218
Desember	507.41	397.12	164.2	487.51	495.56	2051.8	410.36
Total	2310.69	2103	1425.26	2401.35	2793.71	11034.01	2206.802

Lanjutan Lampiran 17

Tabel Data Curah Hujan Stasiun p-451197

Bulan/Tahun	2017	2018	2019	2020	2021	Total	average
Januari	344.44	409.68	394.21	319.23	559.42	2026.98	405.396
Februari	251.17	378.32	178.64	313.57	257.95	1379.65	275.93
Maret	242.95	315.19	261.34	231.9	392.01	1443.39	288.678
April	146.71	136.55	240.76	155.98	163.34	843.34	168.668
Mei	131.87	70.58	72.92	234.72	97.22	607.31	121.462
Juni	160.74	121.88	94.03	101.38	109.14	587.17	117.434
Juli	71.66	59.47	16.62	56.33	79.48	283.56	56.712
Agustus	41.82	16.26	13.06	123.64	114.99	309.77	61.954
September	73.98	14.94	8.76	53.24	120.9	271.82	54.364
Oktober	121.63	22.84	31.42	134.35	157.78	468.02	93.604
November	284.92	180.06	33.59	266	309.64	1074.21	214.842
Desember	524.26	392.94	154.39	501.29	489.85	2062.73	412.546
Total	2396.15	2118.71	1499.74	2491.63	2851.72	11357.95	2271.59

Lampiran 18. Grafik *Frequency Ratio* Kerawanan Tanah Longsor di DAS Lisu, Kabupaten Barru.

