

DOI: <https://doi.org/10.38035/jgit.v2i3>

Received: 11 Agustus 2024, Revised: 23 Agustus 2024, Publish: 30 Agustus 2024

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Analisis Tingkat Risiko Banjir dan Tanah Longsor di Jalur Kereta Api Makassar-Parepare

Aura Putri Zafira¹, Sutoyo², Heriansyah Putra³, Jatmiko Murdiono⁴, Danang Arief Nugroho⁵

¹Universitas Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia, auraputrizafira@apps.ipb.ac.id

²Universitas Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia, sutoyo@apps.ipb.ac.id

³Universitas Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia, heriansyahptr@apps.ipb.ac.id

⁴PT Celebes Railway Indonesia, Jakarta, Indonesia, mikomurdiono@gmail.com

⁵PT Celebes Railway Indonesia, Jakarta, Indonesia, works.danang@gmail.com

Corresponding Author: auraputrizafira@apps.ipb.ac.id¹

Abstract: Public transportation is a primary need for residents in large cities and regencies in South Sulawesi, such as Makassar City, Maros Regency, Pangkajene and Kepulauan Regency, Barru Regency, and Parepare City. The smooth operation of the Makassar-Parepare railway by PT Celebes Railway Indonesia is a top priority in managing the mass transportation system. Several obstacles, such as flood and landslide disasters, can threaten the operation of the railway. Areas at risk of flooding and landslides along the Makassar-Parepare railway route can be identified through Geographic Information System (GIS) analysis. This research aims to analyze the flood and landslide risk levels along the operational route of the Makassar-Parepare railway using scoring and overlay methods integrated with GIS, utilizing parameters that influence floods and landslides, including slope, elevation, rainfall, soil type, geology, and soil texture. The results of this study show that along the Makassar-Parepare railway route, there is an area of 4459.445 hectares classified as high flood risk, 93555.26 hectares as medium flood risk, 28538.32 hectares as low flood risk, and 37190.67 hectares as safe from floods. The railway line from Parangloe Station (13+900) to Palanro Station (115+800) passes through areas with "High risk" and "Medium risk" flood classes. Meanwhile, there is an area of 13880.72 hectares classified as high landslide risk, 69296.58 hectares as medium landslide risk, 54344.16 hectares as low landslide risk, and 26222.07 hectares as safe from landslides. The railway line from Parangloe Station (13+900) to Mandalle Station (67+857) passes through areas with "Safe" and "Low risk" landslide classes. The railway line from Mandalle Station (67+857) to Palanro Station (115+800) passes through areas with "Medium risk" and "High risk" landslide classes.

Keyword: Analysis, flood, landslide, mapping, railway

Abstrak: Transportasi umum merupakan kebutuhan utama bagi masyarakat di kota-kota dan kabupaten besar di Sulawesi Selatan, seperti Kota Makassar, Kabupaten Maros, Kabupaten

Pangkajene dan Kepulauan, Kabupaten Barru, serta Kota Parepare. Kelancaran operasional kereta api Makassar-Parepare oleh PT Celebes Railway Indonesia menjadi prioritas utama dalam pengelolaan sistem transportasi massal. Beberapa kendala, seperti bencana banjir dan longsor, dapat mengancam operasional kereta api tersebut. Daerah yang berisiko mengalami banjir dan longsor di sepanjang jalur kereta api Makassar-Parepare dapat diidentifikasi melalui analisis Sistem Informasi Geografis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat risiko banjir dan tanah longsor di sepanjang jalur operasional kereta api Makassar-Parepare dengan menggunakan metode *scoring* dan *overlay* yang terintegrasi dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) menggunakan parameter yang berpengaruh terhadap banjir dan longsor meliputi kemiringan lahan, ketinggian lahan, curah hujan, jenis tanah, geologi, dan tekstur tanah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa di sepanjang jalur kereta api Makassar-Parepare, terdapat area seluas 4459,445 Ha yang masuk pada kelas banjir risiko tinggi, 93555,26 Ha kelas banjir risiko sedang, 28538,32 Ha kelas banjir risiko rendah dan 37190,67 Ha termasuk kelas banjir aman. Jalur kereta api dari Stasiun Parangloe (13+900) hingga Stasiun Palanro (115+800) melalui daerah dengan kelas banjir “Risiko tinggi” dan “Risiko sedang”. Sementara itu, terdapat area seluas 13880,72 Ha yang masuk pada kelas longsor risiko tinggi, 69296,58 Ha kelas longsor risiko sedang, 54344,16 Ha kelas longsor risiko rendah, dan 26222,07 Ha termasuk kelas longsor aman. Jalur kereta api dari Stasiun Parangloe (13+900) hingga Stasiun Mandalle (67+857) melalui daerah dengan kelas longsor “Aman” dan “Risiko rendah”. Jalur kereta api dari Stasiun Mandalle (67+857) hingga Stasiun Palanro (115+800) melalui daerah dengan kelas longsor “Risiko sedang” dan “Risiko tinggi”.

Kata Kunci: Analisis, banjir, kereta api, longsor, pemetaan

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur transportasi menjadi prioritas utama bagi pemerintah dalam memajukan daerah atau negara, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia. Infrastruktur transportasi memainkan peran krusial dalam peningkatan akses ke pendidikan, layanan kesehatan, dan layanan penting lainnya khususnya di daerah pedesaan yang kurang memiliki fasilitas tersebut (Chaniebate *et al.*, 2023). Infrastruktur transportasi juga mendukung mobilitas dan aksesibilitas orang serta barang dari satu tempat ke tempat lain sehingga dapat mengurangi disparitas dan kesenjangan antar wilayah (Biomantara dan Herdiansyah, 2019). Investasi dalam infrastruktur transportasi dapat meningkatkan efisiensi, memperbaiki konektivitas, dan menyediakan akses yang lebih baik terhadap berbagai peluang sehingga berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan di daerah pedesaan maupun perkotaan (Chen dan Li, 2021). Transportasi umum menjadi kebutuhan utama bagi masyarakat di kota-kota dan kabupaten-kabupaten besar Sulawesi Selatan seperti Kota Makassar, Kabupaten Maros, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan, Kabupaten Barru, dan Kota Parepare. Kota-kota dan kabupaten-kabupaten tersebut memiliki tingkat kepadatan penduduk yang cukup tinggi sehingga kehadiran moda transportasi umum yang efisien sangat diperlukan. Kehadiran transportasi umum yang mampu mengangkut penumpang dalam jumlah besar dengan efisiensi jaringan jalan dapat menjadi pertimbangan utama. Kereta api telah menjadi sistem transportasi umum yang berperan signifikan dalam pembangunan sosial dan ekonomi di banyak negara sejak abad ke-19 (Zhang dan Hua, 2023). Moda ini dikenal hemat energi, efisien dalam penggunaan ruang, bebas dari kemacetan, memiliki tingkat keamanan yang tinggi, dan menghasilkan pencemaran yang rendah. Selain itu, kereta api lebih efisien untuk angkutan jarak jauh maupun perjalanan dalam kota (Merlyn, 2023).

Operasional kereta api Makassar-Parepare oleh PT Celebes Railway Indonesia tanpa adanya kendala menjadi prioritas utama dalam pengelolaan sistem transportasi massal. Terdapat beberapa ancaman kendala yang dapat mengganggu operasional kereta seperti

bencana banjir dan longsor. Sulawesi Selatan sering mengalami banjir, yang sering mengakibatkan kerusakan dan kerugian yang signifikan (Ulfiana *et al.*, 2023). Tak hanya itu, berlokasi di Indonesia bagian timur, pulau Sulawesi berada di wilayah tektonik yang sangat rumit dan dinamis karena bertemunya tiga lempeng tektonik utama: lempeng Indo-Australia yang terdiri dari bagian samudra dan benua, lempeng Eurasia yang sebagian besar benua, dan lempeng Samudra Pasifik atau Laut Filipina (Baillie & Decker, 2022). Interaksi antara lempeng-lempeng ini menyebabkan aktivitas seismik yang signifikan, termasuk gempa bumi yang sering memicu tanah longsor. Selain menimbulkan kerusakan fisik secara langsung seperti kerusakan rel, jembatan, dan stasiun, bencana banjir dan longsor juga secara signifikan mempengaruhi infrastruktur perkeretaapian (Chaudhary dan Piracha, 2021; Roy *et al.*, 2023). Gangguan pada layanan kereta api akibat bencana banjir dan longsor berdampak pada rantai pasokan yang menyebabkan keterlambatan pengiriman barang dan peningkatan biaya transportasi sehingga terjadi kerugian ekonomi (Roy dan Mitra, 2019). Potensi munculnya korban jiwa juga dapat berdampak pada reputasi layanan dan kepercayaan masyarakat terhadap sistem transportasi umum tersebut.

Daerah dengan risiko banjir dan longsor di sepanjang jalur kereta api Makassar-Parepare dapat diidentifikasi melalui analisis Sistem Informasi Geografis. Sistem *overlay* dan pemberian skor diterapkan pada parameter-parameter yang berpengaruh terhadap banjir dan longsor seperti kemiringan lahan, ketinggian lahan, curah hujan, jenis tanah, geologi, dan tekstur tanah. Parameter-parameter tersebut didasarkan pada pengaruh kelas terhadap banjir dan longsor yang semakin besar pengaruhnya, akan semakin tinggi pula skor yang diberikan (Rusdiana *et al.*, 2021). Nilai kerawanan suatu daerah terhadap banjir dan longsor ditentukan dari total penjumlahan skor seluruh parameter (Sitorus *et al.*, 2021). Di antara berbagai metode untuk pemetaan dan analisis banjir serta tanah longsor, metode *scoring* dan *overlay* sering diterapkan dalam literatur. Sebagai contoh, penelitian dan pemetaan banjir di Kabupaten Bandung oleh (Sitorus *et al.*, 2021) menggunakan metode *scoring* dan *overlay* yang divalidasi dengan Peta Kawasan Darurat Bencana Kabupaten Bandung untuk periode 2017-2018. Demikian pula, (Prabowo & Rahman, 2023) menerapkan metode *scoring* dan *overlay* untuk penelitian dan pemetaan banjir di Kabupaten Kendal. Di sisi lain, penelitian dan pemetaan tanah longsor juga telah dilakukan, seperti di Kabupaten Boyolali oleh (Sholikhan *et al.*, 2019). Studi ini menggunakan metode *scoring* dan *overlay* yang divisualisasikan menggunakan Quantum GIS. Penelitian dan pemetaan tanah longsor lainnya dilakukan oleh (Rusdiana *et al.*, 2021) untuk Kabupaten Karangasem yang juga menggunakan metode *scoring* dan *overlay* untuk mengidentifikasi detail area yang rentan terhadap tanah longsor.

Pemetaan dan analisis terkait daerah dengan risiko banjir dan longsor diperlukan agar pihak-pihak berwenang dapat mengambil keputusan serta kebijakan yang tepat. Dari hal tersebut, peningkatan pengelolaan banjir dan longsor serta tindakan pengurangan risiko banjir dan longsor dapat dilakukan dengan optimal sehingga gangguan terhadap operasional kereta api dapat diminimalisasi (Karymbalis *et al.*, 2021). Pemetaan dan analisis yang akurat berguna dalam menentukan tindakan perlindungan dan strategi yang tepat dapat diterapkan untuk melindungi infrastruktur serta mengurangi dampak bencana alam.

METODE

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat risiko banjir dan tanah longsor di sepanjang jalur operasional kereta api Makassar-Parepare dengan menggunakan metode *scoring* dan *overlay* yang terintegrasi dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi shapefile peta topografi Kota Makassar, Kabupaten Maros, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan, Kabupaten Barru, dan Kota Parepare dari Portal Geospasial Indonesia; data DEM (Digital Elevation Model) Kota Makassar, Kabupaten Maros, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan, Kabupaten Barru, dan Kota Parepare dari

Portal Geospasial Indonesia; data satelit Sentinel-2A dari Copernicus Browser Dataspace; dan data curah hujan bulanan dalam rentang 2014-2023 dari dua stasiun hujan yaitu Stasiun Meteorologi Maritim Paotere dan Stasiun Klimatologi Sulawesi Selatan. Analisis data terbagi menjadi 3 tahap. Tahap pertama adalah pembuatan peta elevasi tanah, tekstur tanah, curah hujan, tutupan lahan, dan *buffer* sungai untuk analisis risiko banjir. Tahap kedua berfokus pada pembuatan peta curah hujan, jenis batuan geologi, kemiringan lahan, tutupan lahan, dan jenis tanah untuk analisis risiko tanah longsor. Tahap ketiga melibatkan pemberian *score* dan *overlay* semua parameter untuk membuat peta analisis risiko banjir dan analisis risiko tanah longsor. *Scoring* dan pembobotan untuk setiap parameter dapat ditemukan di Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Score dan bobot untuk analisis banjir

Parameter	Kelas	Score	Bobot
Ketinggian lahan	0 – 12.5 m	6	0.20
	12.5 - 25 m	5	
	25 - 50 m	4	
	50 - 75 m	3	
	75 - 100 m	2	
	>100 m	1	
Buffer sungai	< 25 m (rawan)	3	0.15
	25 - 100 m (agak rawan)	2	
	100 - 250 m (tidak rawan)	1	
Tekstur tanah	Halus	5	0.20
	Agak halus	4	
	Sedang	3	
	Agak kasar	2	
	Kasar	1	
Curah hujan	>3000 (sangat basah)	5	0.25
	2500 - 3000 (basah)	4	
	2000 - 2500 (cukup basah)	3	
	1500-2000 (kering)	2	
	< 1500 (sangat kering)	1	
Tutupan lahan	Perairan	5	0.20
	Pemukiman	4	
	Sawah dan tambak	3	
	Kebun	2	
	Hutan	1	

Sumber: (Prabowo & Rahman, 2023)

Tabel 2. Score dan bobot untuk analisis longsor

Parameter	Kelas	Score	Bobot
Jenis tanah	Litosol	3	0.10
	Fluvisol	2	
	Kambisol	2	
	Luvisol	1	
Rainfall	>3000 (sangat basah)	5	0.30
	2500 - 3000 (basah)	4	
	2000 - 2500 (agak basah)	3	
	1500-2000 (kering)	2	
	< 1500 (sangat kering)	1	

Tutupan lahan	Sawah	5	0.20
	Kebun	4	
	Hutan	3	
	Pemukiman	2	
	Perairan dan tambak	1	
Kemiringan lahan	>45% (sangat curam)	5	0.20
	30-45% (curam)	4	
	15-30% (agak curam)	3	
	8-15% (landai)	2	
	0-8% (datar)	1	
Geologi	Batuan vulkanik	3	0.20
	Batuan sedimen	2	
	Batuan aluvia	1	

Sumber: (Sholikhan *et al.*, 2019)

Tingkat risiko banjir dan longsor setelah *overlay* dapat terlihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 3. Nilai total tingkat risiko banjir

Nomor	Tingkat Risiko Banjir	Total
1	Aman	1.85 – 2.65
2	Risiko rendah	>2.65 – 3.25
3	Risiko sedang	>3.25 – 4.05
4	Risiko tinggi	>4.05 – 4.85

Table 4. Nilai total tingkat risiko longsor

Nomor	Tingkat Risiko Longsor	Total
1	Aman	2.00 – 2.60
2	Risiko rendah	>2.60 – 3.20
3	Risiko sedang	>3.20 – 3.80
4	Risiko tinggi	>3.80 – 4.40

Menurut (Prabowo & Rahman, 2023), pada pemetaan dan analisis banjir, parameter ketinggian lahan, parameter tekstur tanah, dan parameter tutupan lahan diberi bobot 0,2 sedangkan parameter curah hujan diberi bobot 0,25 dan parameter *buffer* sungai diberi bobot 0,15. Oleh karena itu, tingkat risiko banjir dapat diketahui melalui persamaan (1) sebagai berikut.

$$\text{Total score: } 0,2\text{KL}+0,2\text{TT}+0,25\text{CH}+0,2\text{TL}+0,15\text{BS} \quad \textbf{(Persamaan 1)}$$

Menurut (Sholikhan *et al.*, 2019), pada pemetaan dan analisis longsor, parameter geologi, kemiringan lahan, dan tutupan lahan diberi bobot 0,2 sedangkan parameter curah hujan diberi bobot 0,3 dan parameter jenis tanah diberi bobot 0,1. Oleh karena itu, tingkat risiko longsor dapat diketahui melalui persamaan (2) sebagai berikut.

$$\text{Total score: } 0,3\text{CH}+0,2\text{G}+0,2\text{KL}+0,2 \text{ TL}+0,1\text{JT} \quad \textbf{(Persamaan 2)}$$

Persamaan yang digunakan untuk menentukan kelas interval risiko banjir dan longsor ditunjukkan pada persamaan (3) sebagai berikut.

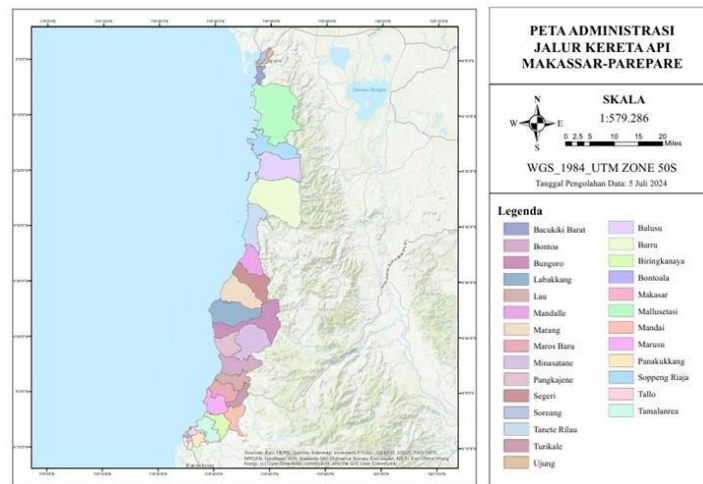
$$\text{Kelas interval: } \frac{\text{Score tertinggi} - \text{Score terendah}}{\text{Kelas total}} \quad \textbf{(Persamaan 3)}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemetaan untuk Analisis Risiko Banjir dan Longsor

1. Peta Administrasi Jalur Kereta Api Makassar-Parepare

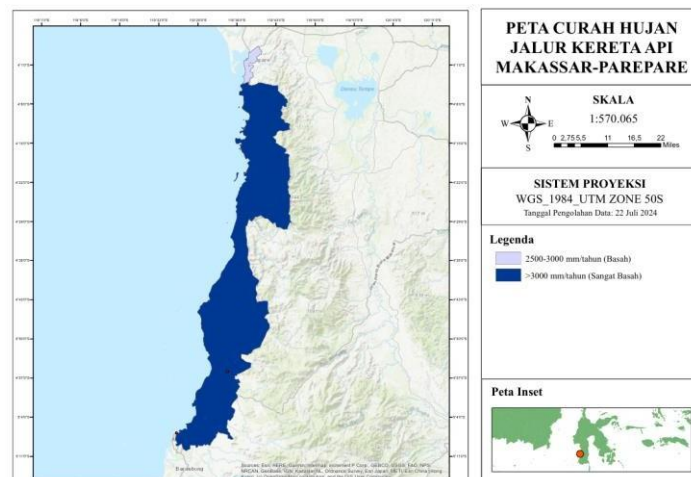
Jalur kereta api Makassar-Parepare direncanakan melintasi Kota Makassar, Kabupaten Maros, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan, Kabupaten Barru, dan Kota Makassar. Saat ini, stasiun yang telah dibangun adalah Stasiun Parangloe, Stasiun Mandai, Stasiun Maros, Stasiun Rammang-Rammang, Stasiun Pangkajene, Stasiun Labakkang, Stasiun Ma'rang, Stasiun Mandalle, Stasiun Tanete Rilau, Stasiun Barru, Stasiun Garongkong, Stasiun Takkalasi, Stasiun Mangkoso, dan Stasiun Palanro. Peta administrasi kecamatan dari yang dilalui oleh jalur kereta api tersebut ditunjukkan oleh Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Peta administrasi jalur kereta api Makassar-Parepare

2. Peta Curah Hujan Jalur Kereta Api Makassar-Parepare

Banjir dapat dipicu oleh hujan deras yang berlangsung dalam durasi pendek dan luapan sungai dapat disebabkan oleh peristiwa hujan yang berkepanjangan serta faktor iklim lainnya seperti pencairan salju dan penguapan (Peleg *et al.*, 2022). Hujan deras dianggap sebagai penyebab utama banjir yang berdampak pada berbagai aspek kehidupan. Hujan deras menyumbang sekitar sepertiga dari peristiwa berbahaya di seluruh dunia, dan frekuensi kejadian banjir telah meningkat secara signifikan dalam beberapa dekade terakhir (Dang, 2022). Tak hanya banjir, selama hujan deras, bencana longsor pun juga dapat berpotensi terjadi (Notti *et al.*, 2023). Air hujan yang banyak masuk ke tanah dapat terakumulasi dan memicu terjadinya longsor. Berikut adalah peta curah hujan di sepanjang jalur kereta api Makassar-Parepare.



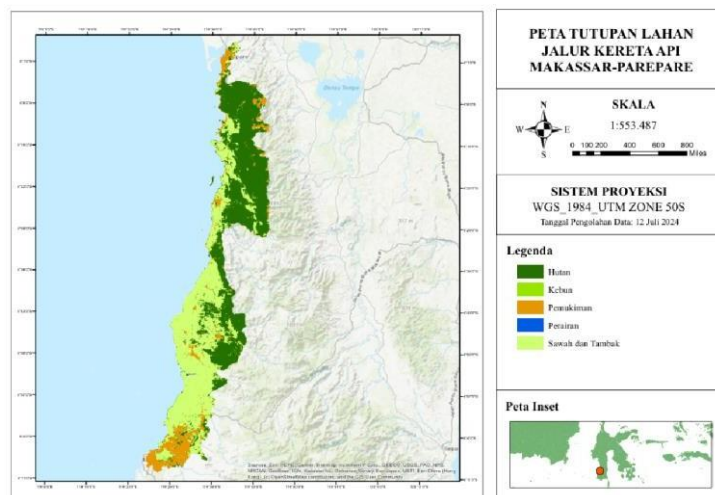
Gambar 2. Peta curah hujan jalur kereta api Makassar-Parepare

Daerah dengan curah hujan tinggi yaitu >3000 mm/tahun (basah) adalah semua kecamatan yang dilintasi jalur kereta api Makassar-Barru. Sementara itu, daerah dengan curah hujan cukup tinggi yaitu $2500\text{--}3000$ mm/tahun (sangat basah) adalah semua kecamatan yang dilintasi jalur kereta api Parepare. Semakin tinggi curah hujan, maka akan semakin tinggi pula risiko terjadinya banjir dan tanah longsor.

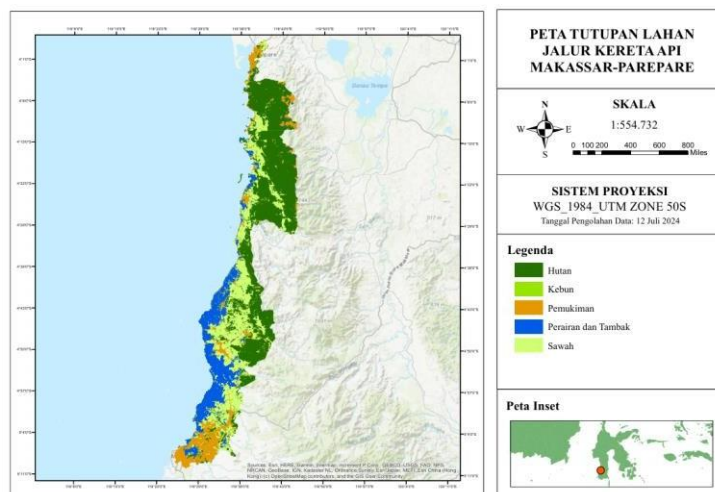
3. Peta Jenis Tutupan Lahan Jalur Kereta Api Makassar-Parepare

Peta tutupan lahan jalur kereta api Makassar-Parepare dibuat dari data citra satelit Sentinel 2A melalui *supervised classification*. Jenis-jenis tutupan lahan dapat mempengaruhi risiko banjir di suatu daerah, terutama jika curah hujan pada daerah tersebut melebihi kapasitas infiltrasi tanah. Di daerah dengan banyak pohon atau vegetasi, air hujan dapat diserap oleh akar tanaman dan bahan organik dalam tanah dapat membantu memperlambat aliran air sehingga risiko banjir berkurang. Sebaliknya, daerah dengan vegetasi yang sedikit berpotensi menghadapi risiko banjir yang lebih tinggi (Prabowo dan Rahman, 2023).

Jenis-jenis tutupan lahan juga dapat mempengaruhi risiko longsor. Vegetasi meningkatkan kekuatan dan kohesi tanah melalui akarnya yang mengikat sedimen tanah. Lereng menjadi lebih rentan terhadap kelongsoran jika permukaan tanah kekurangan tutupan vegetasi, terutama selama kejadian hujan lebat yang menghasilkan aliran permukaan (Silalahi *et al.*, 2019). Peta tutupan lahan jalur kereta api Makassar-Parepare untuk analisis banjir dan longsor dapat terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 sebagai berikut.



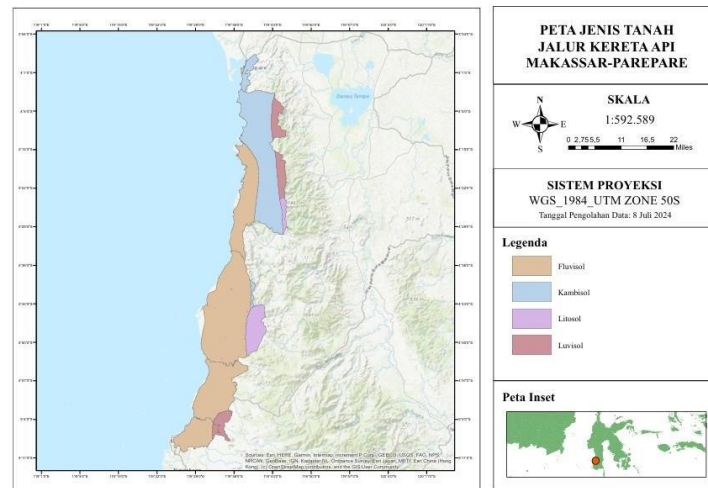
Gambar 3. Peta tutupan lahan jalur kereta api Makassar-Parepare untuk analisis banjir



Gambar 4. Petautupan lahan jalur kereta api Makassar-Parepare

4. Peta Jenis Tanah Jalur Kereta Api Makassar-Parepare

Jenis tanah dapat menentukan tingkat kerawanan banjir dan longsor. Di jalur kereta api Makassar-Parepare, jenis tanah yang tersebar adalah fluvisol, kambisol, litosol, dan luvisol. Tanah fluvisol berasal Latin “*eluere*” yaitu jenis tanah yang memiliki horizon argik yang didominasi oleh mineral lempung 2:1 (dengan kemampuan tukar kation tinggi) dan memiliki tingkat saturasi basa yang tinggi di kedalaman 50–100 cm (Irène *et al.*, 2022). Warna tanah luvisol bervariasi dari coklat muda hingga coklat tua yang bergantung pada kandungan bahan organiknya. Peta jenis tanah di sepanjang jalur kereta api Makassar-Parepare dapat terlihat pada Gambar 5 sebagai berikut.

**Gambar 5. Peta jenis tanah jalur kereta api Makassar-Parepare**

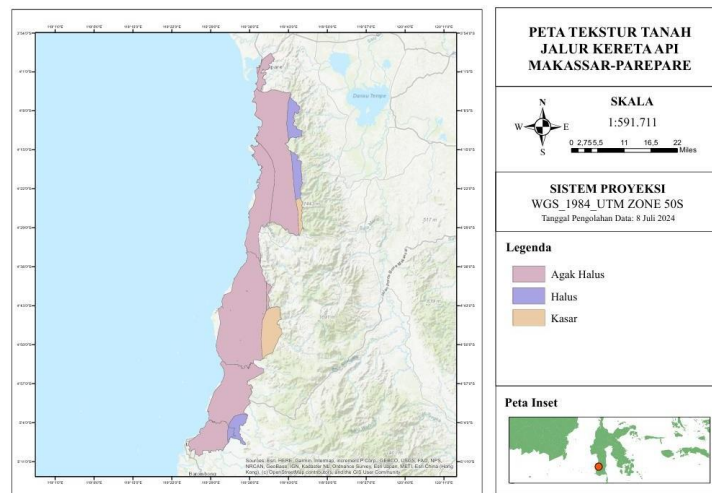
Tanah berjenis fluvisol dapat ditemui di Kecamatan Marusu, Kecamatan Turikale, dan Kecamatan Maros Baru. Tanah berjenis kambisol dapat ditemui di daerah utara dan barat Kecamatan Mallusetasi dan Kecamatan Soppeng Riaja. Tanah berjenis litosol dapat ditemui di daerah timur Kecamatan Bungoro dan tanah berjenis luvisol dapat ditemui di Kecamatan Mandai. Jenis-jenis tanah tersebut berpengaruh terhadap ukuran butiran tanah dan permeabilitas tanah yang berpengaruh pada banjir dan tanah longsor.

5. Peta Tekstur Tanah Jalur Kereta Api Makassar-Parepare

Proses infiltrasi air permukaan sangat dipengaruhi oleh tekstur tanah. Oleh karena itu, tekstur tanah menjadi faktor kunci dalam memahami berbagai masalah kerentanan tanah terkait kejadian bencana hidrometeorologi (Ahmad *et al.*, 2022). Tekstur tanah menggambarkan proporsi butiran pasir, debu, dan lempung yang terdapat dalam komponen mineral tanah (Kumne dan Samanta, 2023). Tanah yang sangat halus memiliki risiko banjir yang tinggi karena sulit bagi air hujan atau luapan sungai untuk meresap ke dalam tanah dengan baik. Sebaliknya, tanah yang kasar cenderung memiliki risiko banjir yang rendah karena lebih mudah menyerap air permukaan tersebut mengurangi kemungkinan penggenangan.

Tanah dengan kandungan lempung tinggi, seperti Fluvisol, memiliki kapasitas penyerapan air yang rendah (Agusman *et al.*, 2023). Kambisol memiliki tekstur yang agak halus (Anggara *et al.*, 2024). Akibatnya, air yang jatuh di permukaan Litosol cenderung lebih banyak menghasilkan aliran permukaan daripada infiltrasi, terutama pada kemiringan yang curam (Badwi *et al.*, 2020). Luvisol memiliki tekstur halus dengan lapisan argil yang kaya, sehingga memiliki permeabilitas atau kapasitas penyerapan air yang rendah. Tanah dengan permeabilitas rendah cenderung meningkatkan potensi banjir (Rakuasa, 2023). Peta tekstur

tanah di sepanjang jalur kereta api Makassar-Parepare ditunjukkan oleh Gambar 6 sebagai berikut.



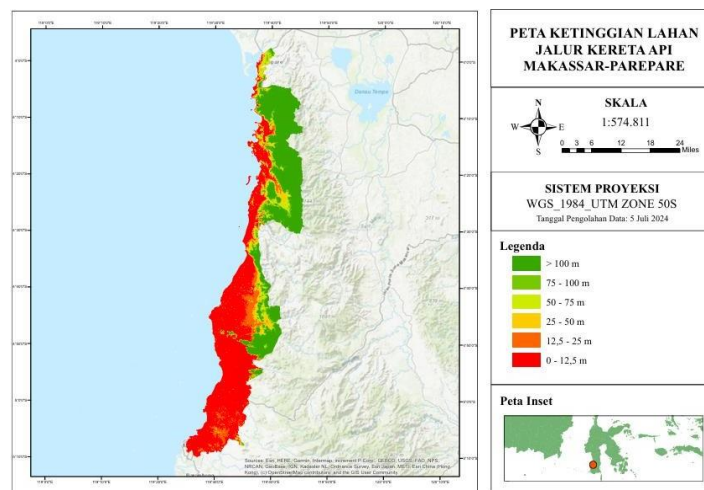
Gambar 6. Peta tekstur tanah jalur kereta api Makassar-Parepare

Tanah bertekstur kasar dapat ditemui di daerah timur Kecamatan Bungoro. Tanah dengan tekstur agak halus dapat ditemui di Kecamatan Marusu, Kecamatan Turikale, Kecamatan Maros Baru, Kecamatan Mallusetasi, dan Kecamatan Soppeng Riaja. Sementara itu, tanah bertekstur halus dapat ditemui di Kecamatan Mandai. Semakin halus tanah, semakin rendah pula permeabilitasnya. Sebaliknya, semakin kasar tanah, semakin tinggi pula permeabilitasnya.

Pemetaan untuk Analisis Banjir

1. Peta Ketinggian Lahan Jalur Kereta Api Makassar-Parepare

Ketinggian lahan adalah pengukuran tinggi suatu area di atas permukaan laut. Tinggi rendahnya suatu lahan dapat mempengaruhi risiko terjadinya banjir. Elevasi atau ketinggian memiliki peran kunci dalam mengontrol arah aliran limpasan dan dalam kedalaman level air (Ogato *et al.*, 2020). Daerah yang lebih rendah memiliki potensi lebih besar untuk mengalami banjir sedangkan daerah yang lebih tinggi cenderung lebih aman dari risiko banjir (Pratama *et al.*, 2020). Hal ini terjadi karena gaya gravitasi sehingga air bergerak dengan cepat dari daerah dataran tinggi ke daerah dataran rendah dan air tersebar di dataran yang lebih rendah yang menyebabkan genangan air (Karymbalis *et al.*, 2021). Peta ketinggian lahan di sepanjang jalur kereta api Makassar-Parepare ditunjukkan pada Gambar 7 sebagai berikut.

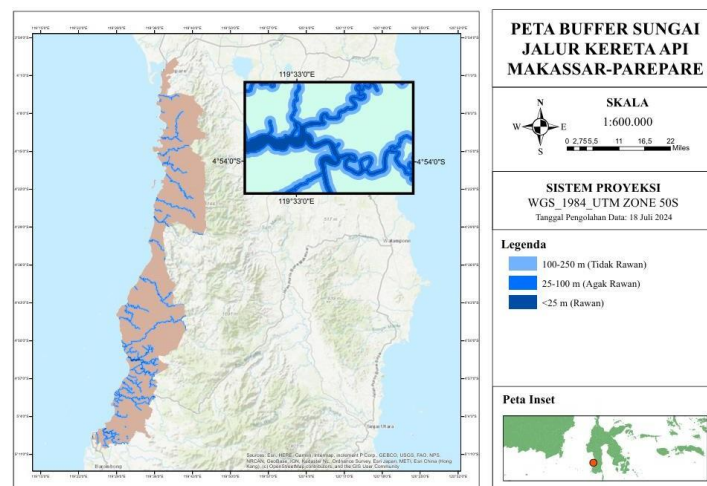


Gambar 7. Peta ketinggian lahan jalur kereta api Makassar-Parepare

Berdasarkan hasil pemetaan tersebut dapat diamati bahwa daerah barat dan selatan jalur kereta api memiliki ketinggian lahan 0–12,5 m hingga 12,5–25 m, contohnya pada Kecamatan Tamalanrea, Kecamatan Biringkanaya, Kecamatan Mandai, Kecamatan Turikale, dll. Sementara itu, daerah timur dan utara jalur kereta api memiliki ketinggian lahan yang berkisar antara 50–75 m hingga >100 m. Daerah-daerah dengan ketinggian rendah lebih rentan terhadap banjir karena berada lebih dekat dengan permukaan air atau saluran drainase sedangkan daerah-daerah yang lebih tinggi cenderung lebih terlindungi dari bahaya banjir yang dapat disebabkan oleh aliran air dari daerah-daerah yang lebih tinggi.

2. Peta Buffer Sungai Jalur Kereta Api Makassar-Parepare

Analisis *buffer* dapat digunakan secara efektif untuk menganalisis banjir perkotaan (Sumunar, 2020). Analisis *buffer* sungai adalah sebuah operasi GIS yang secara otomatis membuat zona dengan lebar tertentu di sekitar objek geometris seperti titik, garis, atau wilayah sesuai dengan jarak *buffer* yang telah ditetapkan. Analisis dilakukan dengan memilih saluran sungai dan file *shapefile* dari pemukiman untuk mengidentifikasi area yang terkena dampak buruk oleh banjir (Ozulu *et al.*, 2021). Peta *buffer* sungai di sepanjang jalur kereta api Makassar-Parepare dapat terlihat pada Gambar 8 sebagai berikut.

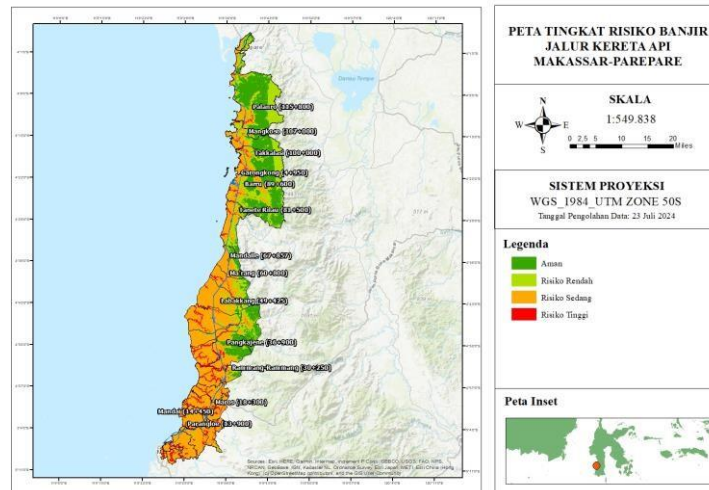


Gambar 8. Peta buffer sungai jalur kereta api Makassar-Parepare

Berdasarkan hasil pemetaan tersebut dapat diamati bahwa Kecamatan Pangkajene, Kecamatan Bontoa, Kecamatan Lau, Kecamatan Maros Baru, Kecamatan Marusu, dan Kecamatan Turikale memiliki banyak aliran sungai. Begitu pula dengan Kecamatan Tamalanrea, Kecamatan Tallo, dan Kecamatan Panakuk kang. Semakin jauh suatu daerah dari sungai, semakin rendah pula risiko terjadinya banjir. Sebaliknya, semakin dekat suatu daerah dari sungai, semakin tinggi pula risiko terjadinya banjir.

3. Peta Tingkat Risiko Banjir Jalur Kereta Api Makassar-Parepare

Setelah dilakukan *overlay* pada parameter curah hujan, tutupan lahan, tekstur tanah, *buffer* sungai, dan ketinggian lahan, diperoleh peta tingkat risiko banjir di sepanjang jalur kereta api Makassar-Parepare. Dari hasil *scoring* dan pembobotan, diperoleh empat kelas tingkat risiko banjir: aman, risiko rendah, risiko sedang, dan risiko tinggi. Berikut adalah peta tingkat risiko banjir jalur kereta api Makassar-Parepare.



Gambar 9. Peta tingkat risiko banjir jalur kereta api Makassar-Parepare

Daerah dengan tingkat risiko tinggi terjadinya banjir adalah daerah-daerah dekat area sungai seperti di Kecamatan Bontoa, Kecamatan Lau, Kecamatan Maros Baru. Contoh daerah dengan tingkat risiko sedang terjadinya banjir adalah Kecamatan Mandalle, Kecamatan Ma'rang, dan Kecamatan Tamalanrea. Contoh daerah dengan tingkat risiko rendah terjadinya banjir adalah daerah timur dari Kecamatan Balusu, daerah timur dari Kecamatan Mallusetasi, dan daerah timur dari Kecamatan Soppeng Riaja. Contoh daerah yang aman dari terjadinya banjir adalah daerah timur dari Kecamatan Bungoro dan Minasatane. Jalur kereta api dari Stasiun Parangloe (13+900) hingga Stasiun Palanro (115+800) melalui daerah dengan kelas banjir “Risiko tinggi” dan “Risiko sedang”. Luas masing-masing kelas tingkat risiko banjir ditunjukkan oleh Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5. Luas masing-masing kelas tingkat risiko banjir

Kelas	Area (Ha)
Aman	37190.67
Risiko rendah	28538.32
Risiko sedang	93555.26
Risiko tinggi	4459.445

Di sepanjang jalur kereta api Makassar-Parepare, kelas “Risiko tinggi” memiliki luas area sebesar 4459,445 Ha, kelas “Risiko sedang” memiliki luas area sebesar 93555,26 Ha, kelas “Risiko rendah” memiliki luas area sebesar 28538,32 Ha, dan kelas “Aman” memiliki luas area sebesar 37190,67 Ha.

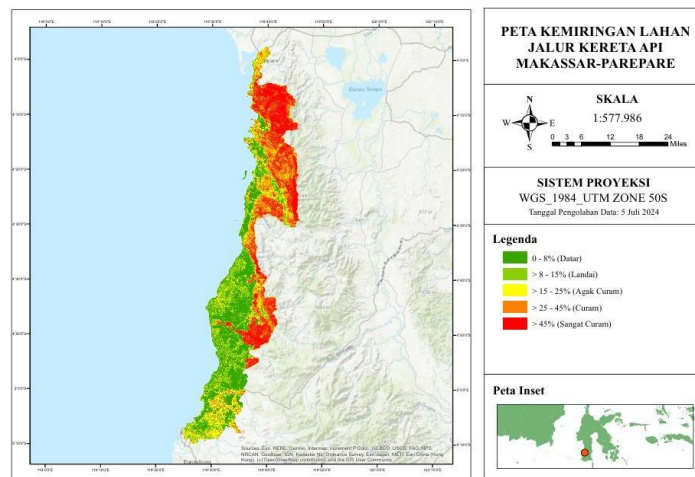
Hujan deras dapat menyebabkan banjir yang mengikis bantalan *ballast* dan menumpuk air pada jalur bawah tanah, yang dapat menyebabkan keruntuhan tanggul dan pergeseran rel. Selain itu, air banjir juga dapat membawa pohon dan benda besar, yang bisa menabrak penopang jembatan dan menimbulkan kerusakan struktural. Banjir dapat merusak tanggul, jembatan, stasiun, sistem penyedia listrik, dan struktur lainnya, yang dapat mengakibatkan keterlambatan dan penutupan jalur selama beberapa minggu atau bulan, serta menyebabkan peningkatan biaya pemeliharaan dan perbaikan (Abuzeidet *et al.*, 2022).

Beberapa pencegahan dan penanganan yang dapat dilakukan pada risiko banjir adalah melalui pembuatan dan perbaikan saluran drainase yang dapat mengurangi penggenangan air di sepanjang jalur kereta api (Ferrante *et al.*, 2020). Saluran irigasi sawah dan tambak yang berada dekat jalur kereta api juga perlu diperhatikan kondisinya dan dapat segera diperbaiki apabila ditemukan adanya kerusakan. Pembuatan tanggul di dekat bantaran sungai juga dapat menjadi pilihan yang tepat sebagai pengendalian banjir yang berada dekat dengan jalur-jalur perkeretaapian.

Pemetaan untuk Analisis Longsor

1. Peta Kemiringan Lahan Jalur Kereta Api Makassar-Parepare

Longsor dapat terjadi baik pada lahan miring (lereng) alami maupun pada struktur buatan manusia (Bandurin *et al.*, 2023). Peta kemiringan lahan membantu mengidentifikasi bentuk lahan yang terkait dengan aksi erosi yang dapat berdampak pada bencana longsor (Quesada Román, 2021). Pada lereng, tanah cenderung memiliki stabilitas yang lebih rendah daripada di lahan datar. Hal ini disebabkan oleh partikel tanah pada lereng lebih rentan terhadap erosi oleh air hujan yang mengurangi kohesi dan kekuatan tanah dalam menahan gaya gravitasi. Air hujan yang meresap cenderung mengalir ke bagian bawah lereng dan menumpuk di sana. Akumulasi air tersebut dapat meningkatkan tekanan air dalam tanah yang kemudian dapat menyebabkan penurunan stabilitas lereng dan meningkatkan risiko terjadinya longsor. Gambar 10 adalah peta kemiringan lahan di sepanjang jalur kereta api Makassar-Parepare



Gambar 10. Peta kemiringan lahan jalur kereta api Makassar-Parepare

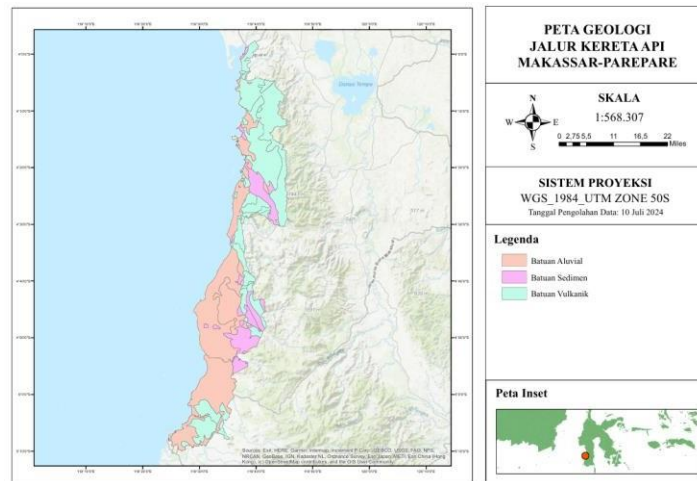
Berdasarkan hasil pemetaan tersebut dapat diamati bahwa di daerah utara dan timur jalur kereta api memiliki lahan yang curam hingga sangat curam, contohnya pada Kecamatan Barru, Kecamatan Balusu, Kecamatan Mallusetasi, Kecamatan Bungoro, dan Kecamatan Minasatane. Sementara itu, daerah barat dan selatan jalur kereta api memiliki lahan yang datar hingga agak curam. Semakin curam suatu lahan miring (lereng), maka akan semakin tinggi pula risiko terjadinya tanah longsor.

2. Peta Geologi Jalur Kereta Api Makassar-Parepare

Jenis batuan geologi menjadi salah satu faktor dalam risiko terjadinya longsor karena berhubungan dengan ketahanan terhadap longsor yang bervariasi berdasarkan komposisi berbagai jenis batuan di bawahnya (Dhungana *et al.*, 2023). Kekuatan batuan dan kejadian longsor berkaitan erat dengan karakteristik geologi dan geomorfologi. Geologi batuan induk memainkan peran penting dalam kegagalan dan distribusi longsor karena berbagai jenis batuan dan unit litologis bereaksi berbeda terhadap perubahan dalam proses geomorfik, permeabilitas, kekuatan batuan dan tanah (Han *et al.*, 2022).

Pada peta geologi, jenis batuan di jalur kereta api Makassar-Parepare tersusun atas berbagai macam jenis batuan seperti formasi balangbaru, formasi camba, anggota gunungapi camba, anggota batugamping camba, aliran lava, basal, basal dan retas basal, trakit, dan ultrabasa tak bernama. Batuan-batuan tersebut digolongkan menjadi batuan vulkanik. Terdapat pula batuan kompleks melange, formasi malawa, formasi tonasa, dan endapan permukaan tak bernama yang digolongkan sebagai batuan sedimen. Tak hanya itu, terdapat pula batuan aluvium, endapan aluvium, dan kerikil tak bernama yang digolongkan sebagai batuan aluvial (Fatinaware *et al.*, 2019; Kusnama dan Mangga, 2007; Syamsudin, 2011). Peta

geologi jalur kereta api Makassar-Parepare dapat terlihat pada Gambar 11 sebagai berikut.

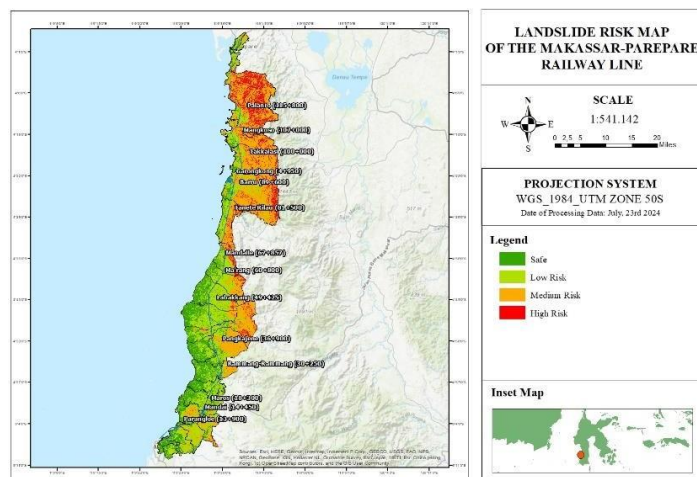


Gambar 11. Peta geologi jalur kereta api Makassar-Parepare

Batuan vulkanik banyak tersebar di Kecamatan Mallusetasi dan Soppeng Riaja. Batuan sedimen banyak tersebar di Kecamatan Bontoa dan Kecamatan Minasatane. Sementara itu, batuan aluvial banyak tersebar di Kecamatan Kecamatan Pangkajene dan Maros Baru.

3. Peta Tingkat Risiko Longsor Jalur Kereta Api Makassar-Parepare

Setelah dilakukan *overlay* pada parameter curah hujan, tutupan lahan, jenis tanah, kemiringan lahan, dan geologi, diperoleh peta tingkat risiko longsor di sepanjang jalur kereta api Makassar-Parepare. Dari hasil *scoring* dan pembobotan, diperoleh empat kelas tingkat risiko longsor: aman, risiko rendah, risiko sedang, dan risiko tinggi. Berikut adalah peta tingkat risiko longsor jalur kereta api Makassar-Parepare.



Gambar 12. Peta tingkat risiko longsor jalur kereta api Makassar-Parepare

Daerah dengan tingkat risiko tinggi terjadinya longsor adalah daerah-daerah dataran tinggi dengan tingkat kemiringan lahan yang tinggi seperti di Kecamatan Barru, Kecamatan Balusu, Kecamatan Mallusetasi, dan Kecamatan Soppeng Riaja. Contoh daerah dengan tingkat risiko sedang terjadinya longsor adalah daerah tengah Kecamatan Balusu, Kecamatan Bontoa, dan Kecamatan Minasatane. Contoh daerah dengan tingkat risiko rendah terjadinya longsor adalah daerah tengah dari Kecamatan Bungoro dan daerah tengah dari Kecamatan Labakkang. Contoh daerah yang aman dari terjadinya longsor adalah daerah barat dari Kecamatan Segeri, Kecamatan Marang, Kecamatan Labakkang, Kecamatan Bungoro,

Kecamatan Pangkajene, Kecamatan Maros Baru, Kecamatan Lau, dan Kecamatan Bontoa. Jalur kereta api dari Stasiun Parangloe (13+900) hingga Stasiun Mandalle (67+857) melalui daerah dengan kelas longsor “Aman” dan “Risiko rendah”. Sementara itu, jalur kereta api dari Stasiun Mandalle (67+857) hingga Stasiun Palanro (115+800) melalui daerah dengan kelas longsor “Risiko sedang” dan “Risiko tinggi”. Luas masing-masing kelas tingkat risiko longsor ditunjukkan oleh Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6. Luas masing-masing kelas tingkat risiko longsor

Kelas	Area (Ha)
Aman	26222,07
Risiko rendah	54344,16
Risiko sedang	69296,58
Risiko tinggi	13880,72

Di sepanjang jalur kereta api Makassar-Parepare, kelas “Risiko tinggi” memiliki luas area sebesar 13880,72 Ha, kelas “Risiko sedang” memiliki luas area sebesar 69296,58 Ha, kelas “Risiko rendah” memiliki luas area sebesar 54344,16 Ha, dan kelas “Aman” memiliki luas area sebesar 26222,07 Ha.

Longsor yang terjadi mengakibatkan gangguan pada jalannya operasi kereta, karena kereta harus bergerak lebih lambat dari kecepatan operasional normal saat melintasi daerah yang terkena longsor (Octaviarini *et al.*, 2023). Longsor juga dapat menimbulkan ancaman besar bagi jalur kereta api, menyebabkan gangguan dan keterlambatan, serta membahayakan keselamatan operasi kereta (Adi *et al.*, 2023). Oleh karena itu, diperlukan pencegahan-pencegahan bencana longsor yang tepat dan efisien.

Salah satu pencegahan yang dapat dilakukan pada risiko bencana longsor adalah melalui teknik stabilisasi lereng. Teknik stabilisasi lereng digunakan untuk memperbaiki kestabilan lereng. Terdapat berbagai metode dan teknik yang bisa diterapkan untuk menjaga kestabilan lereng. Metode pertama menggunakan teknik geometris yang bergantung pada ukuran dan bentuk geometri lereng. Metode kedua adalah metode hidrologi yang bergantung pada kadar air di tanah (Ramesh, 2021). Terdapat pula cara pencegahan erosi dan longsor melalui teknik tradisional yaitu penanaman rumput vetiver. Akar rumput vetiver dapat meningkatkan kekuatan geser tanah sebesar 139% pada kedalaman 0,15 m dan sebesar 47% pada kedalaman 0,75 m (Fata *et al.*, 2022). Hal ini cocok untuk dilakukan sebagai pencegahan bencana longsor dengan biaya yang murah. Penanganan lainnya adalah dengan tembok penahan, tiang pancang, geosintetik, dll.

KESIMPULAN

Banjir dan longsor dapat menghambat dan merugikan aktivitas di jalur kereta api Makassar-Parepare. Terdapat lima parameter yang digunakan dalam pembuatan peta dan analisis tingkat risiko banjir dan lima parameter yang digunakan dalam pembuatan peta dan analisis tingkat risiko longsor di jalur kereta api Makassar-Parepare. Parameter yang digunakan dalam pemetaan dan analisis tingkat risiko banjir adalah ketinggian lahan, *buffer* sungai, tekstur tanah, curah hujan, dan tutupan lahan. Parameter yang digunakan dalam pemetaan dan analisis tingkat risiko banjir adalah jenis tanah, curah hujan, tutupan lahan, kemiringan lahan, dan geologi. Dari hasil pembobotan, ditentukan empat kelas tingkat risiko banjir dan longsor yaitu aman, risiko rendah, risiko sedang, dan risiko tinggi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada analisis banjir di sepanjang jalur kereta api Makassar-Parepare, kelas “Risiko tinggi” memiliki luas area sebesar 4459,445 Ha, kelas “Risiko sedang” memiliki luas area sebesar 93555,26 Ha, kelas “Risiko rendah” memiliki luas area sebesar 28538,32 Ha, dan kelas “Aman” memiliki luas area sebesar 37190,67 Ha. Jalur kereta api dari Stasiun Parangloe (13+900) hingga Stasiun Palanro (115+800) melalui daerah dengan kelas banjir “Risiko tinggi” dan “Risiko sedang”. Sementara itu, pada analisis tanah longsor,

kelas “Risiko tinggi” memiliki luas area sebesar 13880,72 Ha, kelas “Risiko sedang” memiliki luas area sebesar 69296,58 Ha, kelas “Risiko rendah” memiliki luas area sebesar 54344,16 Ha, dan kelas “Aman” memiliki luas area sebesar 26222,07 Ha. Jalur kereta api dari Stasiun Parangloe (13+900) hingga Stasiun Mandalle (67+857) melalui daerah dengan kelas longsor “Aman” dan “Risiko rendah”. Jalur kereta api dari Stasiun Mandalle (67+857) hingga Stasiun Palanro (115+800) melalui daerah dengan kelas longsor “Risiko sedang” dan “Risiko tinggi”. Beberapa langkah pencegahan dan mitigasi yang dapat dilakukan untuk risiko banjir dan longsor adalah pembangunan dan perbaikan saluran drainase serta pembangunan tanggul di sepanjang jalur kereta api di dekat tepi sungai, penerapan teknik stabilisasi lereng, penanaman rumput vetiver, dinding penahan, tiang pancang, dan geosintetik.

REFERENSI

- Abuzeid TS, Ashour MA, Mahmoud H. 2022. Documenting and analyzing the harmful impacts of the seasonal floods in upper egypt on qena-safaga railway track infrastructure. *JES. Journal of Engineering Sciences*. 50(6): 292–311. <https://doi.org/10.21608/jesaun.2022.140354.1139>
- Agusman R, Hanca Hayana N, Stiano DD. 2023. Pemanfaatan sistem informasi geografis (sig) untuk pemetaan tingkat rawan longsor menggunakan metode skoring dan overlay di kabupaten serang, banten. *Jurnal Sains Geografi*. 1(2): 1–11. <https://doi.org/10.2210/jsg.vx1ix.xxx>
- Ahmad A, Farida M, Juita N. 2022. Analisis spasial tekstur tanah terhadap penilaian risiko bencana hidrometeorologi di kecamatan rumbia-kelara, kabupaten jeneponto. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*. 10(1): 42–54. <https://doi.org/10.14710/jwl.10.1.42-54>
- Anggara RB, Dwi M, Manessa M, Setiadi H. 2024. Pemetaan tingkat bahaya erosi di desa ciputri. *Media Komunikasi Geografi*. 25(1): 167–179.
- Badwi, N., Baharuddin, I. I., & Abbas, I. (2020). Flood Hazard Level Mapping in Maros River Basin. *La Geografia*, 18(3), 309–322.
- Baillie, P., & Decker, J. (2022). Enigmatic Sulawesi: The Tectonic Collage. *Berita Sedimentologi*, 48(1), 1–30. <https://doi.org/10.51835/bsed.2022.48.1.388>
- Bandurin, M. A., Volosukhin, V. A., Prikhodko, I. A., & Rudenko, A. A. (2023). Analysis of the Stability of the Kuban River Landslide Slope Involving the Materials Of Landslide Hazard Monitoring. *Construction and Geotechnics*, 14(4), 62–74. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2023.4.05>
- Biomantara, K., & Herdiansyah, H. (2019). Peran Kereta Api Indonesia (KAI) sebagai Infrastruktur Transportasi Wilayah Perkotaan. *Cakrawala*, 19(1), 1–8. <http://ejournal.bsi.ac.id/ejurnal/index.php/cakrawala>
- Blum, W., Schad, P., & Stephen, N. (2018). *Essentials of Soil Science*. Borntraeger Science Publishers.
- Chanieabate, M., He, H., Guo, C., Abrahamgeremew, B., & Huang, Y. (2023). Examining the Relationship between Transportation Infrastructure, Urbanization Level and Rural-Urban Income Gap in China. *Sustainability*, 15(10), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su15108410>
- Chaudhary, M. T., & Piracha, A. (2021). Natural Disasters—Origins, Impacts, Management. *Encyclopedia*, 1(4), 1101–1131. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1040084>
- Chen, Z., & Li, X. (2021). Economic Impact of Transportation Infrastructure Investment under the Belt and Road Initiative. *Asia Europe Journal*, 19(1), 131–159. <https://doi.org/10.1007/s10308-021-00617-3>
- Dang, T. A. (2022). Establishment of Flood Hazard Mapping based on Simulating Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curve for the Ca Mau Peninsula of Vietnam. *Mausam*, 73(2), 355–364. <https://doi.org/10.54302/mausam.v73i2.5481>

- Dhungana, G., Ghimire, R., Poudel, R., & Kumal, S. (2023). Landslide Susceptibility and Risk Analysis in Benighat Rural Municipality, Dhading, Nepal. *Natural Hazards Research*, 3(2), 170–185. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.03.006>
- Fata, Y. A., Hendrayanto, Erizal, Tarigan, S. D., & Wibowo, C. (2022). Vetiver Root Cohesion at Different Growth Sites in Bogor, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(3), 1683–1692. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230360>
- Ferrante, C., Ciampoli, L. B., De Falco, M. C., D’Ascanio, L., Presta, D., & Schiattarella, E. (2020). Can A Fully Integrated Approach enclose the Drainage System Design and the flood Risk Analysis? *Transportation Research Procedia*, 45(2019), 811–818. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.089>
- Fauzi A, Hadi, A. F. S. (2019). Kebijakan Pengelolaan Ruang dan Keberlanjutan Kawasan Karst Maros Pangkep Provinsi Sulawesi Selatan. *Journal of Agriculture, Resource and Environmental Economics*, 2(1), 26–37. <https://doi.org/10.29244/jaree.v2i1.25934>
- Han, Y., Wang, P., Zheng, Y., Yasir, M., Xu, C., Nazir, S., Hossain, M. S., Ullah, S., & Khan, S. (2022). Extraction of Landslide Information Based on Object-Oriented Approach and Cause Analysis in Shuicheng, China. *Remote Sensing*, 14(3), 502. <https://doi.org/10.3390/rs14030502>
- Hristov, B. (2020). The Soils of Botevgrad Valley. *Ecological Engineering and Environment Protection*, September, 20(2), 52–62. <https://doi.org/10.32006/eeep.2020.2.5262>
- Irène, S., Simon, B., Jean-Claude, D. M., & M’baïti, N. (2022). Study of a Toposequence of West Mayo-Kani Soils (Far North Cameroon). *Open Journal of Soil Science*, 12(10), 523–539. <https://doi.org/10.4236/ojss.2022.1210022>
- Karymbalis, E., Andreou, M., Batzakis, D. V., Tsanakas, K., & Karalis, S. (2021). Integration of GIS-based Multicriteria Decision Analysis and Analytic Hierarchy Process for Flood-Hazard Assessment in the Megalo Rema River Catchment (East Attica, Greece). *Sustainability (Switzerland)*, 13(18), 1–24. <https://doi.org/10.3390/su131810232>
- Kumne, W., & Samanta, S. (2023). Geospatial Mapping of Inland Flood Susceptibility Based on Multi-Criteria Analysis – A Case Study in the Final Flow of Busu River Basin, Papua New Guinea. *International Journal of Geoinformatics*, 19(6), 31–48. <https://doi.org/10.52939/ijg.v19i6.2693>
- Kusnama, & Mangga, A. S. (2007). Hubungan Lingkungan Pengendapan Formasi Malawa dan Keterdapatan Batubara di Daerah Soppeng, Sulawesi Selatan. *Jsdg*, 17(4), 218–232.
- Merlyn, A. R. (2023). *Analisis Pemilihan Moda Transportasi antara Kereta Api dan Bus Rute Makassar-Parepare Ditinjau dari Efektivitas dan Efisiensi* [University of Bosowa]. <https://repository.unibos.ac.id/xmlui/handle/123456789/7742>
- Notti, D., Cignetti, M., Godone, D., & Giordan, D. (2023). Semi-automatic Mapping of Shallow Landslides using Free Sentinel-2 Images and Google Earth Engine. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(7), 2625–2648. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-2625-2023>
- Octaviarini, I. S., Fathani, T. F., Hardiyatmo, H. C., Amalina, A. N., & Erzagian, E. (2023). The Mechanism of Rainfall-Induced Landslide Around Railway Tracks in Central Java Province, Indonesia. *INERSIA Lnformasi Dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 19(2), 212–222. <https://doi.org/10.21831/inersia.v19i2.66835>
- Ogato, G. S., Bantider, A., Abebe, K., & Geneletti, D. (2020). Geographic Information System (GIS)-Based Multicriteria Analysis of flooding Hazard and Risk in Ambo Town and its Watershed, West Shoa Zone, Oromia Regional State, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27(2019), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100659>
- Ozulu, G., Essien, G. P., & Akudo, E. O. (2021). Geological and Geospatial Mapping of

- Vulnerability Areas for Proper Flood Mitigation: Ganaja, Lokoja Metropolis, North-Central Nigeria. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8(3), 267–275. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.828668>
- Peleg, N., Ban, N., Gibson, M. J., Chen, A. S., Paschalis, A., Burlando, P., & Leitão, J. P. (2022). Mapping Storm Spatial Profiles for Flood Impact Assessments. *Advances in Water Resources*, 166(June), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2022.104258>
- Prabowo, D., & Rahman, R. A. P. (2023). Identifikasi Potensi Banjir Di Kawasan Sub Urban Kota Semarang (Studi Kasus Kab Kendal). *Jurnal Planologi*, 20(1), 1–16. <https://doi.org/10.30659/jpsa.v20i1.28223>
- Pratama, T. P. E., Supardi, Prihadita, W. P., Yuliatama, V. P., Ramadhani, S. P., Safitri, W., & Syifa, H. N. (2020). Analisis Index Overlay Untuk Pemetaan Kawasan Berpotensi Banjir di Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 1(1), 52–64. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i1.26>
- Quesada Román, A. (2021). Landslides and Floods Zonation using geomorphological Analyses in a dynamic Basin of Costa Rica. *Revista Cartográfica*, 102(1), 125–138. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i102.901>
- Rakuasa. (2023). Pemetaan Daerah Rawan Banjir di Desa Batumerah Kecamatan Sirimau Kota Ambon Menggunakan Sistim Informasi Geografis. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(4), 1642–1653. <https://journal-nusantara.com/index.php/JIM/article/view/1475>
- Ramesh, G. (2021). Slope and Landslide Stabilization: A Review. *Indian Journal of Structure Engineering*, 1(2), 13–16. <https://doi.org/10.54105/ijse.a1304.111221>
- Roy, S., Debnath, P., & Mitra, S. (2023). Impact of Climate Disasters on Railway Infrastructure: Case Study of Northeast India. *Acadlore Transactions on Geosciences*, 2(1), 33–45. <https://doi.org/10.56578/atg020104>
- Roy, S., & Mitra, S. (2019). Railway Stations of Tripura, India: An Assessment of Infrastructural Conditions. In *Urbanization and Regional Sustainability in South Asia*. Springer, Cham. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-23796-7_11
- Rusdiana, D. D., Nuryandini, R., Heni Imelia, J., & Syifa Hafidah, N. (2021). Pemanfaatan Informasi Spasial Berbasis SIG untuk Pemetaan Tingkat Kerawanan Longsor di Kabupaten Karangasem, Bali. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 2(2), 49–55. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2021.v2i2.51>
- Sarma, V. A. K. (2012). Vertisols. In *Major Soil Groups of the World*. CRC Press. <https://doi.org/10.2136/sh1971.1.0007>
- Sholikhan, M., Prasetyo, S. Y. J., & Hartomo, K. D. (2019). Pemanfaatan WebGIS untuk Pemetaan Wilayah Rawan Longsor Kabupaten Boyolali dengan Metode Skoring dan Pembobotan. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 5(1), 131–143. <https://doi.org/10.28932/jutisi.v5i1.1588>
- Silalahi, F. E. S., Pamela, Arifianti, Y., & Hidayat, F. (2019). Landslide Susceptibility Assessment using Frequency Ratio Model in Bogor, West Java, Indonesia. *Geoscience Letters*, 6(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s40562-019-0140-4>
- Sitorus, I. H. O., Bioresita, F., & Hayati, N. (2021). Analisa Tingkat Rawan Banjir di Daerah Kabupaten Bandung Menggunakan Metode Pembobotan dan Scoring. *Jurnal Teknik ITS*, 10(1), 14–19. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.60082>
- Sumunar, D. R. S. (2020). Flood Vulnerability Mapping Using Geographic Information System (GIS) in Gajah Wong Sub Watershed Yogyakarta. *Geosfera Indonesia*, 5(1), 47–64
- Syamsudin. (2011). Bab II Landasan Teori. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699
- Tamtomo Adi, W., Aghastya, A., Prihatanto, R., Rizky Cahyono, A., & Anwer, I. (2023). Landslide Susceptibility Assessment of a Railway Based on GIS Application. *Journal of Railway Transportation and Technology*, 2(2), 12–23.

<https://doi.org/10.37367/jrtt.v2i2.27>

Ulfiana, A., Arsyad, M., & Palloan, P. (2023). The Atmospheric Dynamics Related to Extreme Rainfall and Flood Events during September-October-November in South Sulawesi. *Forum Geografi*, 37(2), 107–116.

<https://doi.org/10.23917/forgeo.v37i2.22339>

Zhang, L., & Hua, X. (2023). Evaluating efficiency of railway transportation based on cross-efficiency evaluation method and relative entropy evaluation method in China. *IET Intelligent Transport Systems*, 17(12), 2410–2418.

<https://doi.org/10.1049/itr2.12420>